

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Füüsika instituut

Rauno Neito

**W SERPENTIS-TÜÜPI KAKSIKTÄHTEDE
ORBITAALPERIOODI MUUTLIKKUS**

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Füüsika, keemia ja materjaliteaduse õppekava, füüsika eriala

Juhendajad:
PhD Indrek Kolka
MSc Tõnis Eenmäe

Tartu 2019

W Serpentis-tüüpi kaksiktähtede orbitaalperioodi muutlikkus

Töö käigus mõõdeti heledusi tähtedel RX Cas, SX Cas ja W Ser, mis kuuluvad kiire orbitaalperioodi muutlikkusega W-Serpentis tüüpi tähtede hulka. Mõõtmistulemustest koostati heledus- ja faasikõverad ning kasutades lisaks Kalv et al. (2008) poolt kogutud andmeid, moodustati tähe RX Cas reeperkõverad B ja V-filtrites ning sobitati neid nii käesoleva töö käigus kui ka (Kalv et al., 2008) poolt kogutud andmepunktidesse. Tulemuseks oli tabel peamiinimumide hetkedega, mida kasutati RX Cas O-C kõvera koostamiseks ja sellesse parabooli sobitamiseks. Sobitatud parabooli ruutliikme kordaja, mis kirjeldab perioodi muutuse kiirust, oli väiksem kui varasemates töödes leitud kordajad, mis viitab RX Cas orbitaalperioodi muutuse võimalikule aeglustumisele.

Märksõnad: akretsioon, akretsioonikettad – kaksiktähesüsteemid: varjutusmuutlikud – tähed: massikadu – meetodid: fotomeetrilised

CERCS: P520 — Astronoomia, kosmoseuuringud, kosmosekeemia

Orbital period change of W Ser-type binaries.

During the course of this thesis, the brightnesses of the stars RX Cas, SX Cas and W Ser was measured. The stars are a part of W Serpentis-type binaries, which exhibit rapid orbital period change. The brightnesses were used to plot the light and phase curves of all the stars. Using additional data from Kalv et al. (2008), master curves for RX Cas were created in the B and V filters, which were fitted to the aforementioned data and data collected during the course of the thesis to determine the moments of the primary eclipses. A table of these eclipses was created and used to plot the O-C curve of RX Cas. In addition, a parabola was fitted into the data points and the quadratic member of the parabola equation had a smaller value than what was found in earlier works. The quadratic member describes the rate of orbital period change and hints at a possibility, that the rate of orbital period change for RX Cas is decreasing.

Keywords: accretion, accretion disks – binaries: eclipsing – stars: mass-loss – techniques: photometric

CERCS: P520 — Astronomy, space research, cosmic chemistry

Sisukord

Sissejuhatus	4
1 Kaksiktähtede liigitamine	5
1.1 Roche'i mudel	5
1.2 Eraldatud, pooleldi eraldatud ja kontaktis süsteemid	6
1.3 Aineülekanne ja -kaod kaksiktähesüsteemides	7
1.4 Algol-tüüpi kaksiktähesüsteemide orbitaalperioodide muutlikkus	7
2 Fotomeetrilised mõõtmised	9
2.1 Vaatluskaadrite eeltöötlus	10
2.2 Apertuurfotomeetria	12
3 Andmeanalüüsi meetodid	15
4 Tulemused ja analüüs	20
5 Kokkuvõte	27
Kirjandus	28
A Tähtede instrumentaalsed heledused	30
B Tähtede heleduskõverad	41
C RX Cas peamiinimumide hetked	48
Lihtlitsents	49

Sissejuhatus

Suur osa vaadeldavatest tähtedest on kaksiktähesüsteemid, mis oma mitmekülsuse poolest jagunevad paljudeks tüüpideks ja alamtüüpideks. Üheks väljapaistvaks, kuid samas väheuuritud alamtüübiks on W Serpentis tüüpi tähed, mille orbitaalperioodid muutuvad võrreldes teiste kaksiktähtedega väga kiiresti. Tegemist on varjutusmuutlike kaksiktähtedega, mida on uuritud juba 20. sajandi algusest (Erdem ja Öztürk, 2014). Omaette alamtüübi lõi M. Plavec 40 aastat tagasi (Plavec, 1980), kui ta määras sinna kuuluvaks viis vaadeldud süsteemi: RX Cas, SX Cas, V 367 Cyg, W Cru ja W Ser.

Nendest tähtedest kolme: RX Cas, SX Cas ja W Ser, on hiljem uuritud mitmete autorite poolt (Strupat et al., 1985; Mennickent ja Kołaczowski, 2010; Erdem ja Öztürk, 2014), kuid hiljutised vaatlusandmed nimetatud tähtede kohta puuduvad (värskeim artikkel A. Erdem ja O. Öztürk poolt aastal 2014). Seetõttu seati käesolevas töös neli eesmärki:

- 1) Koguda tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser kohta värskeid fotomeetrilisi vaatlusandmeid.
- 2) Luua kogutud andmetest tähtede heledus- ja faasikõverad, millel on kujutatud tähtede heleduste muutuseid.
- 3) Kasutada tähe RX Cas Tallinna Tähetornis 20. sajandil kogutud andmeid (Kalv et al., 2008) ning töö käigus kogutud andmeid, et moodustada reeperkõverad. Reeperkõverate abil on võimalik määrata tähe peavarjutuste keskmomente ehk peamiinimume ning seeläbi hinnata orbitaalperioodi muutlikkust.
- 4) Võrrelda leitud peamiinimumide hetki varasemalt tehtud tööde ennustustega nimetatud peamiinimumide kohta.

Töö käigus selgitatakse Algol-tüüpi kaksiktähesüsteemide olemust, mille hulka kuuluvad ka W Serpentis-tüüpi tähed. Lisaks sellele kirjeldatakse fotomeetriliste andmete töötlust ja tähtede heleduste mõõtmist. Töö praktilises osas kirjutatakse andmete töötlemiseks ja eespool nimetatud kõverate koostamiseks programm. Tulemuseks on tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser heledus- ja faasikõverad, tähe RX Cas peamiinimumide hetked ning hinnang orbitaalperioodi muutusele.

Peatükk 1

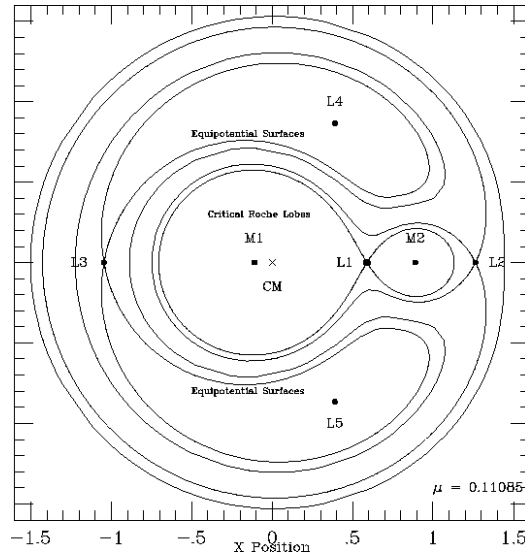
Kaksiktähtede liigitamine

Kaksiktähtedeks nimetatakse selliseid tähtede paare, mille komponendid tiirlevad ümber ühise massikeskme. Et mõista W Serpentis tüüpi kaksikute olemust, tuleb esmalt selgitada, mille alusel kaksiktähti jagatakse erinevatesse alamhulkadesse.

1.1 Roche'i mudel

Üks viis kaksiktähesüsteemide liigitamiseks on süsteemi konfiguratsiooni põhjal, mille kirjeldamisel on oluline osa Roche'i mudelil. Mudeli kohaselt loetakse tähed punktmassideks, mille ümber asetsevad suletud ekvipotentsiaalpinnad ehk pinnad, mille igas punktis mõjuks nendel asuvatele osakestele konstantne gravitatsiooniline potentsiaal (Hilditch, 2001). Tähtede lähedal on pinnad sfäärilise kujuga, kuid kaugemal hakkavad tähtede pöörlemine ning vastastikused loodejõud pindade kuju moonutama, muutes pinnad tilgakujuliseks. Kui tähed on teineteisele piisavalt lähedal, puutuvad mõlema komponendi ekvipotentsiaalpinnad kokku, s.t. need ei ole enam suletud ühe tähe ümber. Piisav lähedus sõltub komponentide massidest ning nende omavahelisest massisuhtest, mida massiivsemad ja väiksema massisuhtega komponendid, seda suurema distantssi pealt võivad pinnad kokku puutuda. (Nguyen ja Etzel, 1999)

Pinnad moodustavad ühinedes liivakella kuju, kusjuures liivakella keskpunkt on Lagrange'i esimene punkt. Kriitiliseks Roche'i piiriks loetakse pinda, millest kaugemal ei ole ekvipotentsiaalpind enam vaid ühe tähe ümber suletud. Kui täht kriitilise pinna sisse enam ei mahu, hakkab sellest väljapoole jääv aine läbi esimese Lagrange'i punkti kanduma teisele komponendile. Roche'i pindasid ja Lagrange'i punkte kaksiktähesüsteemis kirjeldab joonis 1.1. (Nguyen ja Etzel, 1999)



Joonis 1.1: Kaksiktähesüsteem koos komponentide Roche'i pindadega. Punktid L_i vastavad Lagrange'i punktidele, milles paiknevat osakest mõjutavad kaksiktähesüsteemi komponendid võrdse jõuga. (Nguyen, 2004)

1.2 Eraldatud, pooleldi eraldatud ja kontaktis süsteemid

Komponentidevahelise kauguse põhjal jagunevad kaksiktähesüsteemid kolme alamklassi: eraldatud (i.k. *detached*), pooleldi eraldatud (i.k. *semidetached*) ning kontaktis (i.k. *contact*) süsteemid. Eraldatud süsteemides ei täida kumbki täht enda kriitilist Roche'i piiri ning tähtede evolutsioon kulgeb nii nagu üksikutel tähtedel. (Nguyen ja Etzel, 1999)

Pooleldi eraldatud süsteemides täidab üks komponent enda Roche'i piiri ning aine hakkab kanduma teise komponendi peale läbi Lagrange'i esimese punkti. Tüüpiliselt tekib massi omastava ehk akreteeriva tähe ümber akretsiooniketas või kiht, mis varjab osaliselt või täielikult tähelt meieni saabuvat valgust. Massiülekanne ühelt tähelt teisele on konservatiivne protsess, kui aine ei lahku süsteemist kui tervikust. (Nguyen ja Etzel, 1999)

Kontaktis olevates süsteemides on tähed niivõrd lähestikku, et mõlemad täidavad oma Roche'i piirid ning nendest väljapoole jääv aine lahkub lisaks Lagrange'i esimesele punktile ka teisest ning kolmandast punktist, moodustades ühise ümbrise (i.k. *common envelope*) ehk ainekihi, mis ümbritseb mõlemat tähte. Selline aine vool võib samuti tekitada ühise kaksiktähe tuule (i.k. *binary wind*), mis kannab komponentide ainet tähtedevahelisse keskkonda (i.k. *interstellar medium*), kuid siis ei ole süsteemi massiülekanne enam konservatiivne. (Nguyen ja Etzel, 1999)

1.3 Aineülekanne ja -kaod kaksiktähesüsteemides

Nii pooleldi eraldatud kui ka kontaktis olevate süsteemide puhul põhjustab komponentidevaheline aine ülevool ning täheaine lahkumine süsteemist moonutusi tähtede arengus, kuid kindel seaduspära moonutustel puudub. Üheks uuritumaks pooleldi eraldatud kaksiktähesüsteemide alaliigiks on Algol-tüüpi kaksikud, mis on nime saanud prototüüptähe β Persei ehk Algoli järgi. Sellistes süsteemides on hilisemas arengujärgus primaartäheks keskmise massiga peajada täht, mis ei täida oma Roche'i piiri ning sekundaartäheks oluliselt väiksema massiga allhiid, mis täidab oma Roche'i piiri. Massisuhe sellistes süsteemides on tüüpiliselt umbes 0.3 ning sekundaartähtede heledus ja mõõtmed on kuni 10 korda suuremad võrreldes sama massiga peajadatähtedega. (Hilditch, 2001)

Vaatlused on näidanud, et süsteemi varasemas arengujärgus on komponentide rollid vahetuses, kuid aine ülevool süsteemis põhjustab evolutsiooni käigus massisuhte ümberpöördumise. See tähendab, et esialgu massiivsemalt primaartähelt kandub sekundaartähele üle nii palju ainet, et sekundaartähest saab uus primaartäht ning esialgsest primaartähest saab sekundaartäht. Lisaks sellele on selgunud, et selliste süsteemide arengut ei saa kirjeldada konservatiivse massiülekandega ning tuleb eeldada, et süsteemides toimub mitte-konservatiivne massiülekanne ja impulsimomendi kadu. (Hilditch, 2001)

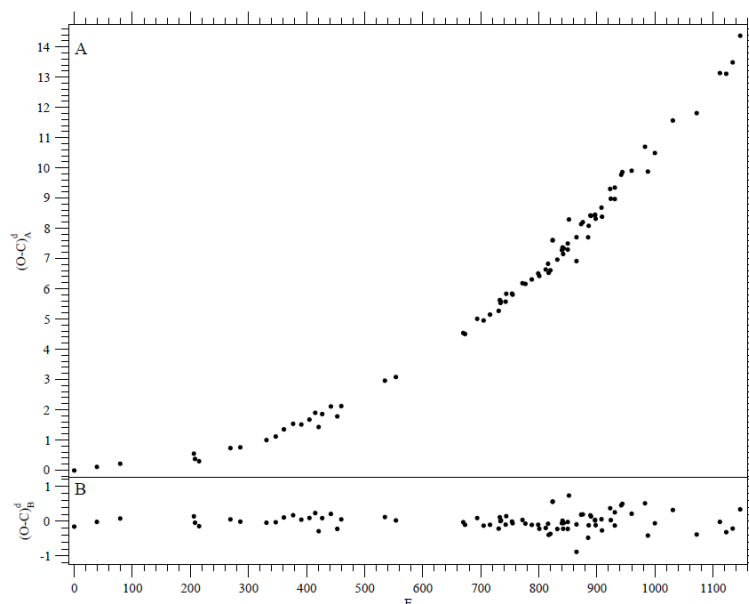
Sellisel juhul on lisaks ühisele tähetuulele süsteemi impulsimomenti (ja seetõttu ka perioodi) vähendavaks mehhanismiks magnetiline pidurdamine. Efekt tuleb esile magnetiliselt aktiivsete tähtede puhul, milleks Algolites on tavaliselt allhiu staadiumisse jõudnud sekundaartähed. Tähetuule ioniseeritud osakeste ja tähe magnetvälja vastasmõju tõttu kannab tähetuul süsteemist välja täiendava hulga impulsimomenti. (Erdem ja Öztürk, 2014)

1.4 Algol-tüüpi kaksiktähesüsteemide orbitaalperioodide muutlikkus

Just Algol-tüüpi kaksikud on A. Erdem ja O. Öztürk võtnud vaatluse alla oma artiklis (Erdem ja Öztürk, 2014). Artiklis rakendatakse nii konservatiivse kui ka mittekonservatiivse massiülekande mudelit väljavalitud süsteemidele, et selgitada muutusi nende orbitaalperioodides. Sobiva valimi moodustasid 18 süsteemi, mille O-C (i.k. *Observed-Calculated*, O-C)¹ kõverad on paraboolse kujuga. (Erdem ja Öztürk, 2014)

¹ Kaksiktähesüsteemide orbitaalperioodi muutlikkuse hindamiseks kasutatavad kõverad, mille x-teljel on kuvatud tsüklite numbrid ning y-teljel vaatlustest määratud peamiinimumide ning arvutuslikult leitud peamiinimumide vahed päevades.

Süsteemide perioodide mõõtmisel kasutati pea kogu arhiividest kättesaadavat infot, kaasa arvatud visuaalsetel vaatlustel kogutud andmeid, et kuvada perioodide muutused võimalikult pika aja kohta. 10 tähte 18-st on üles avaneva O - C kõveraga, mis viitab orbitaalperioodi pikenemisele ning 8 alla avaneva kõveraga, mis viitab orbitaalperioodi lühenemisele (vt joonis 1.2). (Erdem ja Öztürk, 2014)



Joonis 1.2: Näide ülespoole avanevast O-C kõverast. E tähistab epohhi arvu ning O-C vahet vaatlusest määratud ja arvutustest leitud varjutuste keskmomentide vahel päevades. Joonise ülemises pooles on arvutusteks kasutatud lineaarset seost ehk esimesele määratud epohhile on igal järgneval epohhil liidetud juurde periood. Joonise alumises osas on arvutusse lisatud ka ruutliige. (Kalv et al., 2008)

Uuritud kaksiktähtedest ilmutasid kolm süsteemi oluliselt kiiremat orbitaalperioodi muutust võrreldes teiste süsteemidega. Kõnealused kaksikud kuuluvad W Serpentis-tüüpi kaksiktähesüsteemide hulka, mis on Algol-tüüpi süsteemide äärmuslik alamliik. Sellistes süsteemides on komponentidevaheline interaktsioon väga intensiivne, süsteemi akreteerivaks komponendiks on tüüpiliselt kuum B8...A9 spektriklassi peajada täht, mida ümbritseb tihe, läbipaistmatu akretsiooniketas ning doonortäheks on hilise spektriklassi, näiteks K või M klassi, hiid. (Erdem ja Öztürk, 2014)

Kaks tähte kolmest, RX Cassiopeia ning W Serpentis kuuluvad pikeneva perioodiga kaksikute hulka ning tulemuste kohaselt on nende komponentidevaheline massiülekanne kiirus kaks suurusjärku suurem teistest pikeneva perioodiga süsteemidest. Sarnane olukord on kolmanda tähe, SX Cassiopeiaga, mille orbitaalperiood lüheneb ning mille süsteemi massikao kiirus on umbes kaks suurusjärku suurem võrreldes teiste süsteemidega, mille perioodid lühenevad. (Erdem ja Öztürk, 2014)

Peatükk 2

Fotomeetrilised mõõtmised

Töö käigus mõõdeti uuritavate tähtede heledusi Tõraveres Tartu Observatooriumi teleskoopidega. Esimene neist, mida nimetatakse teleskoobi annetaja Raivo Heina järgi RAITS (Raivo Annetatud Intelligentne TeleskoobiSüsteem), on 31.4 cm-se peapeegli automaatne teleskoop ning teine teleskoop on 60 cm-se peapeegli Zeiss 600. Teleskoopide detailsem info on toodud tabelis 2.1.

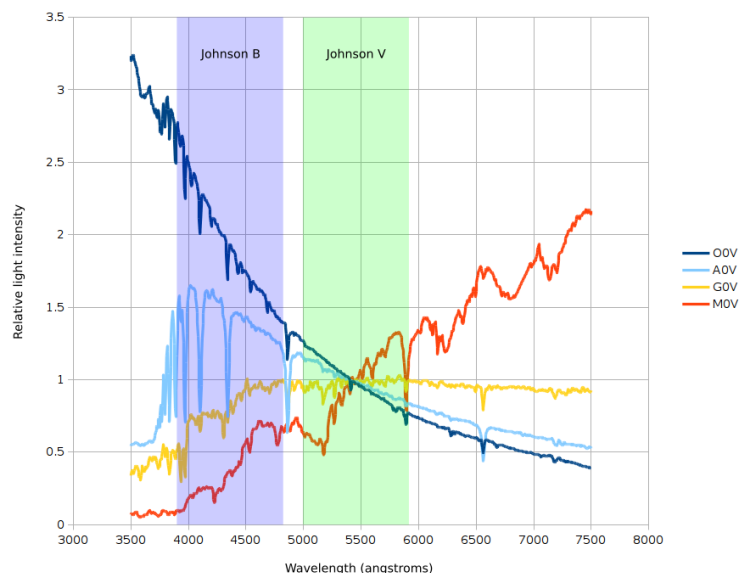
Tabel 2.1: Tartu Observatooriumi teleskoobid ning vaatlusteks kasutatud instrumendid.

Teleskoop	Peapeegli suurus	Vaatevälja suurus	Kasutatav kaamera	Kasutatav filtrite süsteem
Planewave CDK12.5	31.4 cm	38'	Apogee Alta U42	Astrodon Photometrics BVR _c I _c filtrid
Zeiss 600	60 cm	12.7'	Andor Ikon-L	Optec Inc Bessell filtrid UBVR _c I _c

Vaatlemisel kasutati Johnson-Cousinsi filtrisüsteemi filtreid B,V,R ja I, millest igaüks vastab erinevatele lainepikkuste vahemikule, alustades B filtrist (läbilaskevahemik u 350-550 nm) ja lõpetades I filtriga (läbilaskevahemik u 670-1000 nm) (Bessell, 1990). Vaatlusinstrumendi (teleskoop, filtrid ja kaamera) tundlikkus varieerub erinevaid filtreid kasutades ning sõltub teleskoobi läbilaskvusest, kasutatava filtri läbipaistvusest ja CCD tundlikkusest. Näiteks on B-filtriga kaadreid tehes vaja tihtipeale üle 5 korra pikemat säriaega, et koguda sama palju footoneid kui V-filtrit kasutades. Filtreid kasutatakse erinevate instrumentidega tehtud vaatluste võrdlemiseks, kuid lisaks sellele saab nende abil hinnata tähtede värvust. Tähe värvus on defineeritud kui tema heleduste erinevus kahes lainepikkuste vahemikus, näiteks B ja V filtris mõõdetud heleduste vahe, mis iseloomustab tähe pinnatemperatuuri (vt joonis 2.1).

Erinevate instrumentidega tehtud vaatlusi on võimalik võrrelda, teisendades konkreetse teleskoobi ja fotomeetriga kogutud ehk instrumentaalsed vaatlused kasutavatele filtritele vastavasse standardsesse süsteemi. Sellist protseduuri nimetatakse värviülekaneks (i.k *colour*

transformation), mille käigus leitakse seosed konstantsete ja väga täpselt mõõdetud heledustega tähtede ehk standardtähtede instrumentaalsete ja kataloogiheleduste vahel. Kataloogiheleduseks nimetatakse astronoomilisest kataloogist võetud standardset heledust.



Joonis 2.1: Erinevate spektriklassi tähtede suhtelised energiajaotused. Joonisel on kujutatud Johnson-Cousinsi süsteemi B ja V-filtri läbilaskevahemikke ning nelja tähe heleduste muutust lainepikkuste vahemikus, alustades sinisest O-spektriklassi tähest ning lõpetades punase M-spektriklassi tähega. (Peris ja Conejero, 2019)

2.1 Vaatluskaadrite eeltöötlus

Vaatlusi tehes on oluline kogutud andmekaadreid eelnevalt töödelda, et vabaneda müra, mida tekitavad erinevad füüsikalised nähtused. Tüüpiliselt kasutatakse fotomeetrias kolme erinevat tüüpi kalibratsioonikaadreid, millest igaüks parandab kindlat tüüpi nähtusest tulenevat müra. Esimest tüüpi kalibratsioonikaadrid on eelpingekaadrid (i. k. *bias frame*), mida kasutatakse CCD elektroonikast tekkiva müra eemaldamiseks. (Howell, 2006)

Eelpingekaadrite tekitamiseks suletakse kaamera katik ning määratakse kaadri säriajaks 0 sekundit, ehk footoneid CCD pikslitele ei lange ning signaal, mis registreeritakse, tuleneb pikslite mahalugemisest, analoog-digitaal muunduritest ning CCD elektroonikale antud eelpingest. Eelpinge põhjustab konstantse signaalinivoo, mis on tavaliselt mõnisada ADU (i. k. *analogue-to-digital unit, ADU*) ning selle eesmärgiks on vältida negatiivseid pikslite väärtuseid kaadrites, kuna elektroonikast tulenev signaal on jaotunud nulli ümber (s.t võib ilma eelpingeta omada negatiivseid väärtuseid). (Howell, 2006)

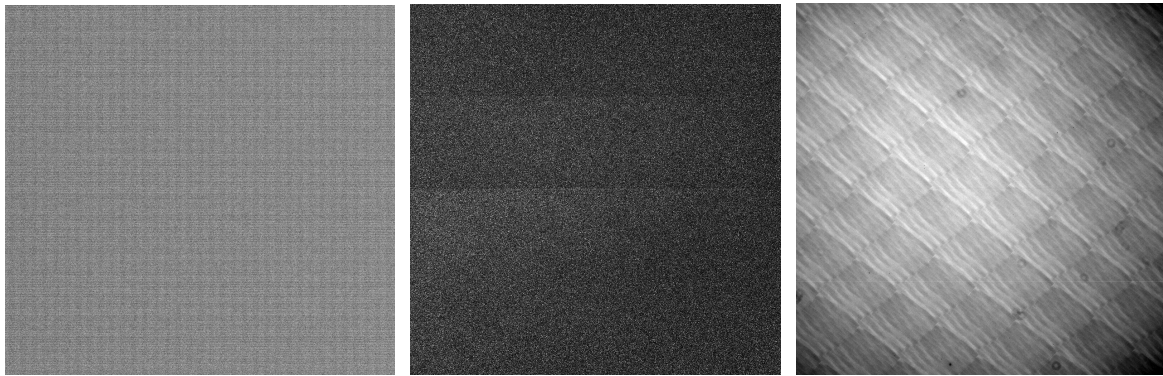
Kuigi eelpingekaadrite keskmine signaal muutub pikema ajaperioodi jooksul vähe, tehakse neid pea igal vaatlusööl, kuna nende kogumine on väga kiire protsess, üldiselt vaid mõni minut. Kõiki tüüpi kalibratsioonikaadreid tehakse mitu tükki ning seejärel kombineeritakse üheks ülemkaadriks, et eemaldada kosmilisi kiiri, mahalugemisest tulenevaid variatsioone ning juhuslikke fluktuatsioone, mis üksikutes kaadrites tekivad. Ülemkaadrites on võetud üksikute kaadrite pikslitest keskmine või mood ehk näiteks ülemkaadri esimene piksel on mood üksikute kaadrite esimesestest pikslitest. (Howell, 2006)

Teist liiki kalibratsioonikaadrid on pimekaadrid, mis eemaldavad pikslites pimevoolust tulenevat signaali. Pimevoolu all peetakse silmas nähtust, kus CCD-s tekivad juhuslikult elektron-auk paarid, mille tulemusel kogunevad elektronid pikslitesse ja tekitavad seeläbi nendes signaali. Pimevool sõltub temperatuurist ning kahekordistub umbes iga 6 K temperatuuri tõusuga. See on ka põhjus, miks CCD-sid jahutatakse ning piisavalt madalal temperatuuril võib pimevoolu panuse lugeda tühiseks. Näiteks lühikeste säriaegade puhul (mõnest sekundist paari-kolme minutini) on -40°C -ni jahutatud CCD kaamera puhul vajalik pimevooluga arvestada, kuid -75°C -ni jahutatud CCD kaamera puhul mitte. Pikemate säriaegade puhul, näiteks 60 minutit, koguneb rohkem pimevoolu ning sel juhul on CCD-d vaja veel rohkem jahutada. (Howell, 2006)

Pimekaadrite tegemisel suletakse kaamera katik ning säriajaks valitakse ideaaljuhul vaatluskaadri säriaeg, kuid kuna öö jooksul mõõdetud objektide säriajad võivad oluliselt varieeruda, tehakse pimekaadreid lihtsalt vastavalt vajadusele selliste säriaegadega, et nende skaleerimine vaatluskaadrite säriajale vastavaks ei oleks liiga suur (s.t juba kahekordne säriaja erinevus vaatluskaadrist on ebasoovitav). Välimuselt sarnanevad pimekaadrid eelpingekaadritele, kuid võivad sisaldada kuumi piksleid - neid, mis genereerivad ajaühikus tavaliste pikslitega võrreldes tunduvalt rohkem pimesignaali. (Howell, 2006)

Viimast tüüpi kalibratsioonikaadriteks on tasaväljakaadrid. Igal CCD pikslil on veidi erinev (tavaliselt 1-2 %) tundlikkus võrreldes tema naabriga, lisaks võib CCD peale või mõõteriista optilistele elementidele sattuda tolmu, mis moonutab kogutud signaali. Nende erinevuste silumiseks tehakse kaadreid, kus CCD on ühtlaselt üle terve pinna valgustatud. Selleks on erinevaid võimalusi, näiteks saab teleskoobi kupli sisse paigutada spetsiaalse ekraani, valgustada selle pinda lambiga ning seejärel suunata teleskoop seda pinda vaatama. Teiseks variandiks, mida kasutatakse ka käesolevas töös, on suunata teleskoop vaatama päikeseloojangu- või tõusu taevast, mille mõned seniidilähedased piirkonnad on leitud olevat ühtlase heledusega. Lisaks pikslite tundlikkuse erinevusele aitab tasaväljakaader kompenseerida vinjeteerimist ehk heleduse vähenemist kaadri nurkades. Kalibratsioonikaadreid on kujutatud joonisel 2.2. (Howell, 2006)

Esimesena lahutatakse eelpingele vastav ülemkaader maha veel kombineerimata pimevoolu-, tasavälja- ja vaatluskaadritest. Seejärel lahutatakse kombineeritud pimevoolukaadrid maha



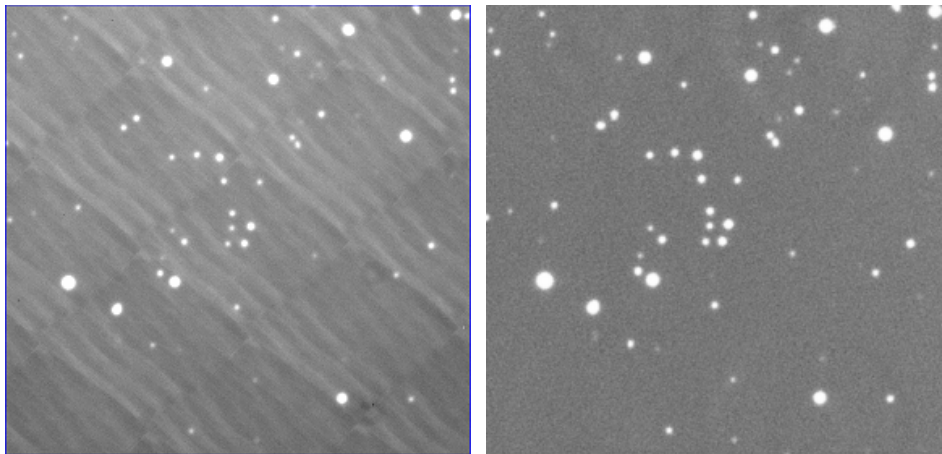
Joonis 2.2: Eelpeing- (vasakul), pimevoolu- (keskel) ja tasavälja (paremal) ülemkaadrid. Tasaväljakaadrit on hästi näha niinimetatud vahvlistruktuur, mis demonstreerib pikslite erinevat tundlikkust üle sensori pinna. Struktuuri kuju ja amplituud sõltub kasutatavast CCD-st. Lisaks on näha rõngaid, mille on tekitanud tolmukübemed, mis on sattunud teleskoobi optikale. Kuna tolmukübemete teke on juhuslik, on oluline teha tasaväljakaadreit nii tihti kui võimalik, et kasutatav kaader sisaldaks kõiki iseärasusi, mis on olemas ka vaatluskaadrites. Igas filtris tehtud tasaväljakaader on unikaalse välimusega, antud joonise peal on kujutatud B-filtris tehtud tasaväljakaadrit.

vaatlus- ja kombineerimata tasaväljakaadritest, valides lahutamiseks säriajalt kõige lähema pimevoolu ülemkaadri. Viimase etapina kombineeritakse tasaväljakaadrid ning jagatakse vaatluskaadrid nendega läbi (vt valem 2.1). Kui tehakse kõiki kolme tüüpi kaadreit ning nõutav täpsus ei ole väga suur, võib eelpeingekaadri lahutamise vahele jätta, kuna pimevoolukaadrid sisaldavad samuti elektroonikast tingitud müra. Pimevoolukaadrite puudmisel (siis kui CCD on piisavalt jahutatud, et nende tegemine pole vajalik) on kindlasti tarvis eelpeingekaader ülejäänud kaadritest lahutada, kuna vastasel juhul jääb CCD elektroonikast tingitud müra ja eelpeingearvestamata. (Howell, 2006)

$$\text{Töödeldud kaader} = \frac{\text{Toorkaader-Eelpeingekaader}-(\text{Pimekaader- Eelpeingekaader})}{\text{Tasaväljakaader-Eelpeingekaader} - (\text{Pimekaader- Eelpeingekaader})} \quad (2.1)$$

2.2 Apertuurfotomeetria

Üks levinumatest meetoditest tähtede heleduste mõõtmiseks on apertuurfotomeetria. Selle meetodi puhul tekitatakse kaadris mõõdetava tähe keskpunkti ümber apertuur, mis on tüüpiliselt ringikujuline, kuid võib olla ka kandiline või muu kujuga, mida konkreetse mõõtmise jaoks vaja läheb. Apertuuri määramisel on oluline selle raadius, mis sõltub vaatlustehnikast ning tähe heledusest. Kuna tähtede heleduse profiil järgib enam-vähem Gaussi jaotust (vt joonis 2.4), on raadiuse määramiseks kasutusele võetud profiili täislaius poolel kõrgusel (i.k *full width at half*



Joonis 2.3: Toorkaader (vasakul) ja korregeeritud vaatluskaader (paremal). Kaadreid võrreldes on näha, kuidas töötlemise käigus on vaatluskaadrilt tasaväljakaadriga läbi jagamise tulemusel kadunud vahvlistruktuur. Lisaks sellele on tähed töötamise tulemusel taevafooni taustal paremini esile tulnud.

maximum, *FWHM*). S. B. Howell on näidanud, et parima signaal-müra suhte tagab ühekordse FWHM kasutamine raadiusena. Suurema raadiuse valimine võimaldaks koguda rohkem signaali, aga samas suureneks apertuuris olevate pikslite arv ning seeläbi ka tähest sõltumatute müraallikate panus tulemusse. Seetõttu on ühe FWHM suurune raadius hea tasakaal signaali ja pikslite arvu vahel. (Howell, 2006)

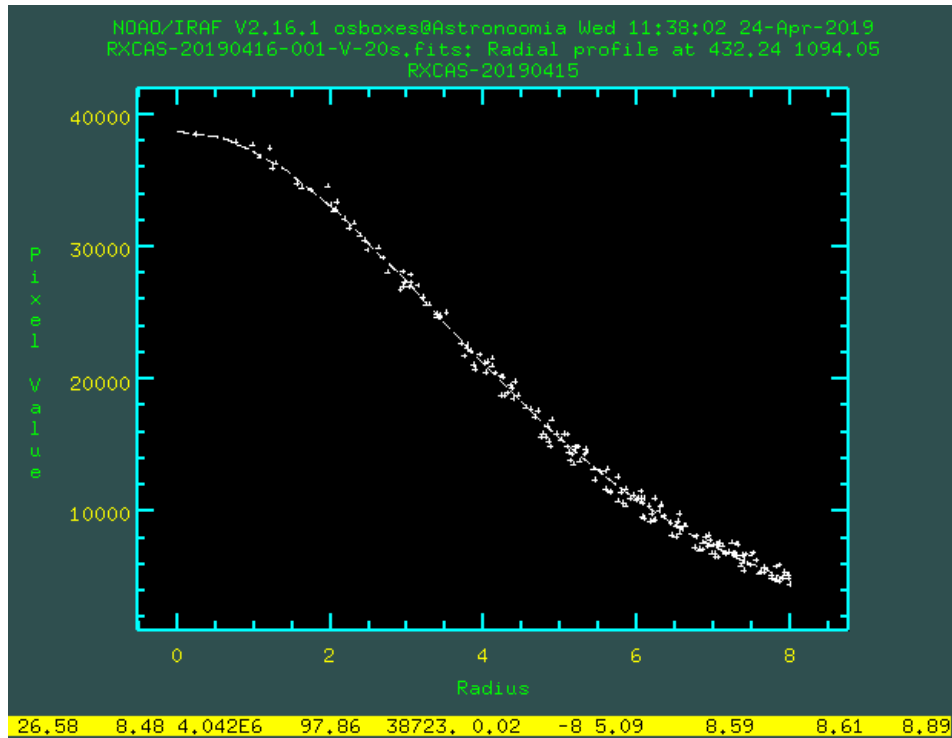
Määratud apertuur sisaldab lisaks tähelt kiiratud footonitele ka ümbritseva tausta footoneid, mida nimetatakse taevafooniks. Taevafooni määramiseks tekitatakse tähe ümber rõngakujuline piirkond ning leitakse selles asuvate pikslite mediaanväärtus. Mediaanväärtus tagab, et juhuslikult rõngasse sattunud tähed ei moonuta leitava taevafooni väärtust. Hea hinnangu saamiseks peaks piirkond sisaldama umbes kolm korda sama palju piksleid, kui on tähe keskpunkti ümber tekitatud apertuuri sees (vt joonis 2.5).

Kui taevafoon on määratud, saab selle maha lahutada apertuuri sees olevate pikslite väärtustest. Fooni suhtes korregeeritud pikslite väärtused kokku liidetuna moodustavad tähe intensiivsuse ADU-des. Tähe instrumentaalse heleduse leidmiseks kasutatakse järgmist valemit (2.2)

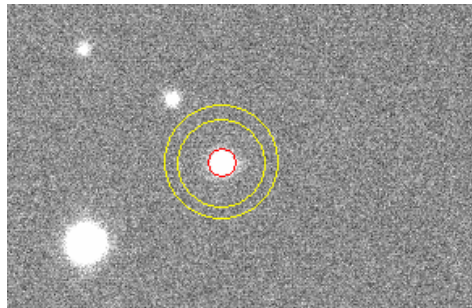
$$m = -2.5 \log_{10} f, \quad (2.2)$$

kus m tähistab tähe instrumentaalset heledust tähesuurustes ehk magnituudides (i.k *magnitude*, *mag*) ning f intensiivsust ADU-des.

Vaid uuritava tähe heleduse mõõtmisest üksi ei piisa, kuna igas kaadris on tähe signaal väga tugevasti mõjutatud valitud säriajast ning atmosfäärast. Seetõttu võetakse kasutusele võrdlustähed, mille heledus aja jooksul ei muutu. Kui uuritava tähe instrumentaalsest heledusest mingis filtris



Joonis 2.4: Tähe heleduse profiili kujutav graafik. X-teljel on kujutatud kaugus tähe keskpunktist pikslites ning y-teljel pikslite väärtused ADU-des. Alumisel kollasel ribal parempoolseim arv tähistab uuritava tähe FWHM väärtust.



Joonis 2.5: Näide apertuurist (punane) ning taevafooni määramise piirkonnast (kollane).

lahutada võrdlustähe instrumentaalne heledus ning sellele liita võrdlustähe kataloogiheledus selles filtris, on lihtsas lähenduses tulemuseks uuritava tähe tegelik heledus vaatlusmomendil. Nagu peatüki alguses mainiti, on standardsüsteemile vastavate heleduste leidmiseks vajalik värviülekanne.

Peatükk 3

Andmeanalüüsi meetodid

Teleskoopidega kogutud vaatlusandmed salvestatakse enamasti FITS¹ (i.k *Flexible Image Transport System, FITS*) formaadis failidena. See formaat on hea, kuna on vormistatud N-dimensionaalsete massiivide või tabelitena, millesse saab salvestada näiteks vaatluskaadri pikslite väärtused. Lisaks sellele saab FITS failide päises hoiustada masinloetavaid struktureeritud andmeid, nagu näiteks vaatlusel kasutatud filter, säriaeg või vaadeldud objekti koordinaadid.

FITS faile oskavad käsitseda praktiliselt kõik astronoomiaalased programmid nagu DS9² ja IRAF³ ning ka programmeerimiskeele Python erinevad paketid. Esimene neist, DS9, on hea tööriist andmekaadrite visualiseerimiseks. Selle abil on näiteks võimalik kontrollida, milline on iga piksli väärtus või kas kaadri tegemise ajal on teleskoobi vaatevälja sattunud mõni satelliit. Teine programm, IRAF, sisaldab endas väga palju funktsioone. Käesolevas töös kasutati seda andmekaadrite eeltöötlemiseks, kuid samuti saab programmi kasutada fotomeetrilisteks mõõtmisteks.

Tähtede heleduste mõõtmiseks, jooniste koostamiseks ning reeperkõverate tekitamiseks ja nende andmepunktidesse sobitamiseks kirjutasin programmeerimiskeeles Python (versioon 3.6) mitmest osast koosneva programmi. Programm kasutab Pythoni mooduleid *astropy*⁴, *photutils*⁵, *matplotlib*⁶, *numpy*⁷ ning tähtede heleduste määramatuste leidmiseks V. Bajaj poolt koostatud programme⁸.

¹https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_standard.html

²<http://ds9.si.edu/site/Home.html>

³<http://ast.noao.edu/data/software>

⁴<https://www.astropy.org/>

⁵<https://photutils.readthedocs.io/en/stable/>

⁶<https://matplotlib.org/>

⁷<https://www.numpy.org/>

⁸https://github.com/spacetelescope/wfc3_photometry/blob/master/photometry_tools/photometry_with_errors.py

Esimene osa programmist avas iga andmekaadri ning luges faili päisest vaatlusmomendile vastava heliotsentrilise juuliuse päeva (i.k *Heliocentric Julian Day, HJD*), kasutatud filtri, õhumassi ja kaadri säriaaja. Juuliuse päev on astronoomias kasutatav ajaarvestus, mille nullpunktiks on Juliuse kalendri järgi 1. jaanuar 4713 eKr kell 12 päeval ning iga uus päev algab kell 12:00 maailmaaja järgi. Heliotsentriline tähendab siinkohal, et selle väärtus on korrigeeritud Maa asukoha suhtes Päikesega. Õhumass on vaadeldava objekti ja vaatlusinstrumendi vahele jääva õhukihi paksus, mis on normeeritud selliselt, et seniidis on õhumass 1. Õhumassi saab arvutada valemi 3.1 abil

$$X = \sec z [1 - 0.0012(\sec^2 z - 1)], \quad (3.1)$$

milles X tähistab õhumassi ning z seniitkaugust.

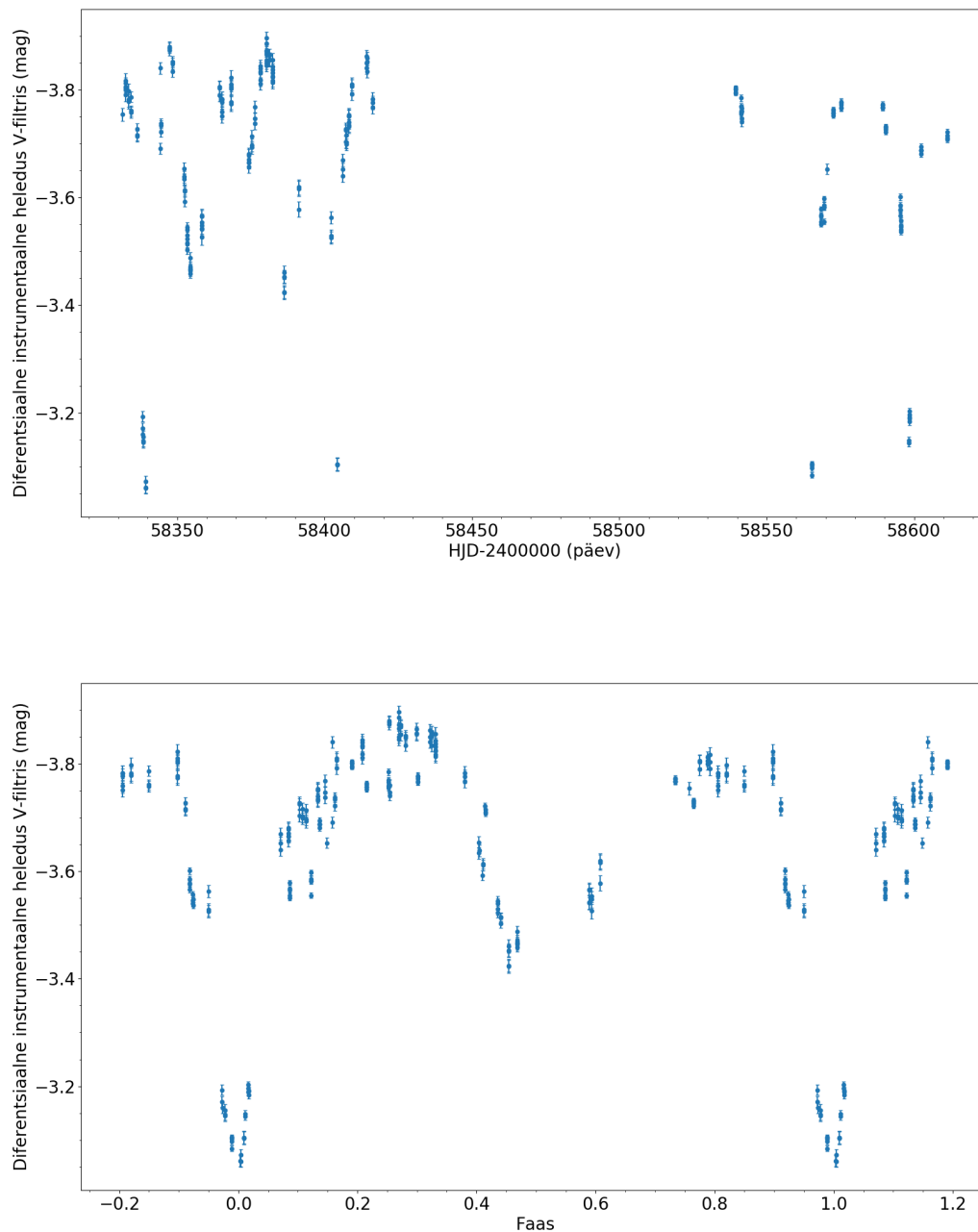
Peale päisest info lugemist tuvastas programm DAOFIND (Stetson, 1987) algoritmi abil kaadrist tähed ning kontrollis, et ükski uuritavatele objektidele vastavatest pikslitest ei oleks küllastunud, küllastumise väärtuseks on RAITS-iga mõõdetud kaadrite puhul 40000 ADU ning Zeiss 600-ga mõõdetud kaadrite puhul 60000 ADU. Järgmise sammuna mõõtis programm uuritava tähe ja võrdlustähtede instrumentaalsed heledused apertuurfotomeetria meetodil. Mõõtmiseks kasutava apertuuri määramiseks leiti kaadris asuvate heledaimate tähtede heledusprofiilide FWHM-de keskmine väärtus. Lisaks heledustele tähesuurustes leidis programm ka heleduste mõõtemääramatused. Peale seda kirjutati leitud heledused, määramatused ning FITS-failide päistest loetud info uuritavate tähtede ja filtrite kaupa failidesse.

Mõõdetud andmete põhjal sai koostada uuritavate tähtede heleduskõverad. Kuna käesolevas töös vaatluse all olevate tähtede orbitaalperioodid on suurusjärgus mõnikümmend päeva ning Eesti ilmastikuolud ei luba igal ööl tähti vaadelda, on heleduskõverad lünklikud. Et oleks parem ülevaade, kuidas heledus orbitaalperioodi jooksul muutub, on mõistlik koostada tähtede faasikõverad. Sellistel kõveratel on andmepunkti vaatluse hetk HJD-s asendatud sellele vastava faasiga, mida arvutatakse tähe perioodi ja teadaoleva miinimumihetke järgi järgneva valemiga (3.2)

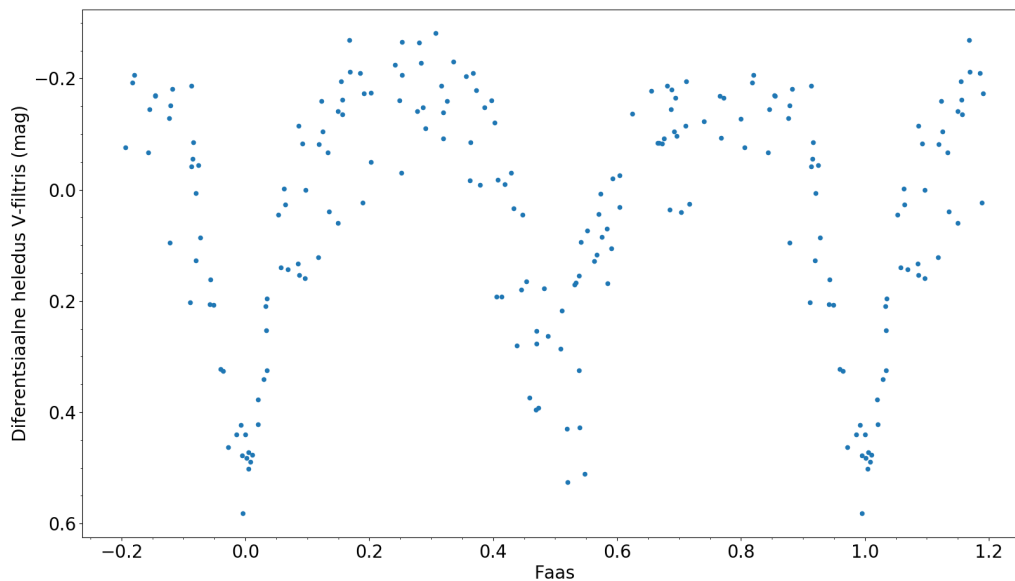
$$f = \frac{T - T_0}{P}, \quad (3.2)$$

kus faasiks on jagatise f jääk. T tähistab konkreetse vaatluse ajahetke, T_0 mingi teadaoleva miinimumi ajahetke ja P perioodi. Faasiks 0 loetakse varjutusmuutlikel tähtedel peavarjutuse keskmomenti ehk hetke, mil kaksiktähesüsteemi nõrgem komponent varjutab heledamat komponenti. Heledus- ja faasikõveraid on kujutatud joonisel 3.1.

Töö käigus kogutud vaatlusandmetest B ja V filtrites moodustati RX Cas faasikõverad, millelt eraldati faasi 0 ümbruses asuvad andmepunktid faasi vahemikus ± 0.2 . Sama tehti Tallinna



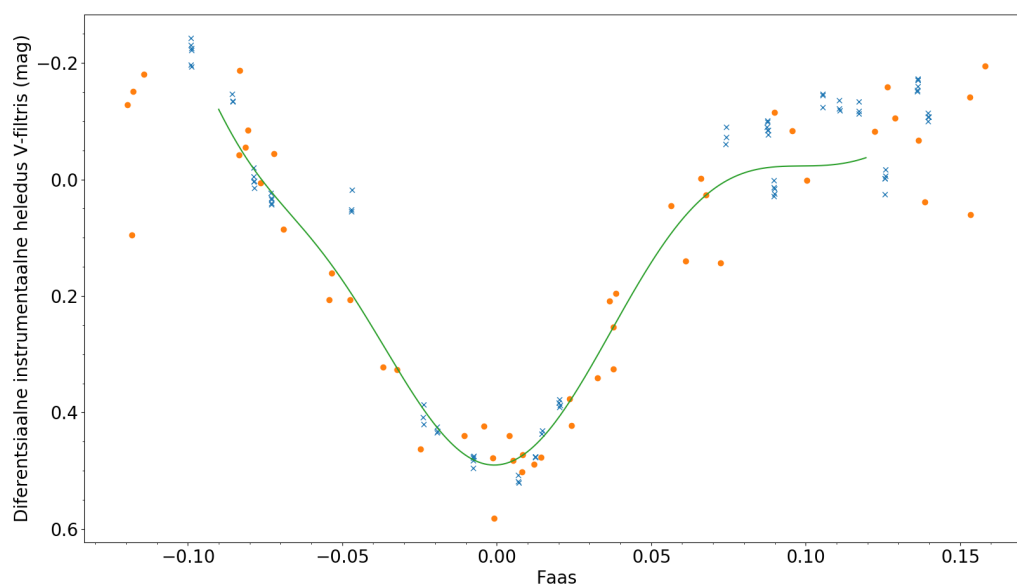
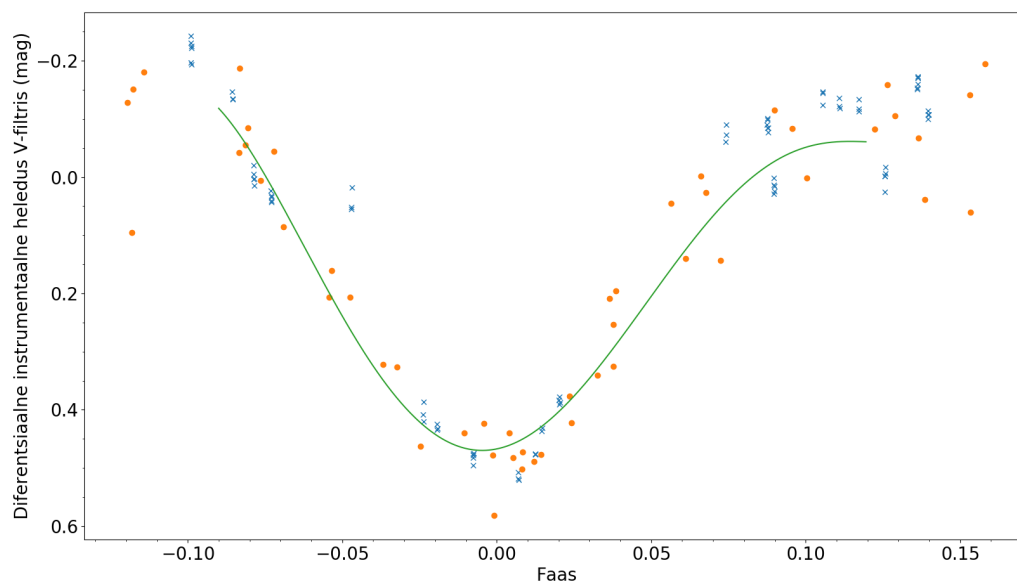
Joonis 3.1: RX Cas heledus- ja faasikõverad V-filtris. Heleduskõveral (ülemine) on x-teljel kujutatud vaatluste momente taandatud HJD-des. Faasikõveral (alumine) on x-teljel kujutatud vaatlusmomentidele vastavaid faase ning mõlemal kõveral on y-teljel kujutatud uuritava tähe diferentsiaalseid instrumentaalseid heledusi võrdlustähe suhtes, ühikuks on tähesuurused.



Joonis 3.2: Tallinna Tähetorni andmete põhjal koostatud faasikõver V-filtris. Peamiinimumist kaugemal on näha, et samale faasile vastavate andmepunktide heledused varieeruvad märgatavalt, mis on tingitud ebakorrapärastest füüsikalistest muutustest kaksiktähesüsteemis. (Kalv et al., 2008)

Tähetornis B ja V filtrites kogutud andmetega (Kalv et al., 2008). Filtrite valik oli tingitud Tallinna Tähetornis läbi viidud vaatlustest, kuna just nimetatud filtreid kasutades oli kogutud kõige rohkem andmeid. Kahest vaatlusperioodist kombineeritud andmepunktid olid aluseks reeperkõverate loomisel, mille käigus sobitati läbi nimetatud punktide vähimruutude meetodil polünoom. Polünoomi määramispiirkonnaks valiti ± 0.07 faasi, kuna peamiinimumide läheduses muutub tähe heledus igas orbitaalperioodis sarnaselt, kuid ülejäänud perioodi ulatuses esineb olulist muutlikkust (vt joonis 3.2)

Polünoomi järgu määramisel jälgiti eelkõige, kui hästi läbib tekitatud polünoom faasi 0 vahetus ümbruses (± 0.05 faasi) asuvaid andmepunkte. Teisalt oli oluline, et ei kasutataks liiga kõrget järku polünoomi, sest sellisel juhul ei vasta polünoomi kuju enam tegelikule heleduse muutusele. Erinevat järku polünoomidest tekitatud reeperkõveraid on kujutatud joonisel 3.3.



Joonis 3.3: 6. (ülemine) ja 10. (alumine) järku polünoomi võrdlus. 6. järku polünoom on laiem ning ei läbi miinimumi lähedal asuvaid punkte nii hästi, kui 10. järku polünoom.

Peatükk 4

Tulemused ja analüüs

Käeoleval vaatlusperioodil mõõdeti Tõraveres Tartu Observatooriumis RX Cas, SX Cas ja W Ser heledusi kahel ajavahemikul, 31.07.2018 - 24.10.2018 ning 24.02.2019-07.05.2019. Esimesel ajavahemikul kogus Tõnis Eenmäe fotomeetrilisi andmeid kõigi kolme tähe kohta ning kasutas selleks teleskoopi RAITS. Teisel ajavahemikul kasutas Rauno Neito teleskoopi Zeiss 600, et mõõta tähtede RX Cas ja SX Cas heledusi. W Serpentist vaadeldi vaid esimesel perioodil, kuna tähe asukohast tingituna ei olnud hilisematel aegadel seda enam võimalik vaadelda (s.t täht oli horisondil juba liiga madalal). Info uuritavate tähtede võrdlus- ja kontrolltähtede kohta on toodud tabelis 4.1. Täpsem info vaatluste kohta on tabelis 4.2 ning instrumentaalsed heledused on lisas A.

Kolme mõõdetud tähe heledustest koostati heleduskõverad (vt lisa B) ja faasikõverad, mida on kujutatud joonisel 4.1. Tähe RX Cas faasikõveral on näha B ja V filtri puhul märgatavat mõõtmistulemuste hajumist faasi 0.2 ümbruses, mis on tingitud sel hetkel nähtava kuuma

Tabel 4.1: Mõõtmisteks kasutatud võrdlustähed. Iga tähe kohta on toodud võrdlustäht (esimeses reas) ja kontrolltäht (teises reas), nende nimetused, koordinaadid, kataloogiheledused ning värvusindeksid.

Täht	RA h:m:s	DEC d:m:s	B mag	V mag	B-V mag
RX Cas					
2MASS J03083839+6734479	03:08:38.4	+67:34:48	13.698	12.520	1.178
2MASS J03074049+6732304	03:07:40.5	+67:32:30	14.496	13.204	1.292
SX Cas					
TYC 3656-1465-1	00:10:54.6	+54:51:21	11.00	10.88	0.12
TYC 3656-1537-1	00:10:46.9	+54:52:04	13.69	11.54	2.15
W Ser					
HD 165945	18:09:02.1	-15:31:42	9.67	9.41	0.26
TYC 6264-1847-1	18:09:47.5	-15:35:14	12.51	11.39	1.12

Tabel 4.2: Tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser vaatlused Tartu Observatooriumis 2018–2019 hooajal. Tärmiga on tähistatud kehvade vaatlustingimustega ööd (nt tiheda pilvevinega ööd), mida analüüsis ei kasutatud.

Aeg	Möödetud objekt(id)	Kasutatud filtrid	Vaatleja	Teleskoop	Aeg	Möödetud objekt(id)	Kasutatud filtrid	Vaatleja	Teleskoop
2018-07-31	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-09-29	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-01	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-10	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-02	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-12	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-03	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-14	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-05	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-15	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-07	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-16	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-08	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-17	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-13	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-22	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-16	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2018-10-24	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS
2018-08-17	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-02-24	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-08-21	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-02-26	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-08-22	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-01	SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-08-23	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-18*	SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-08-24*	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-22	RX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-08-27	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-25	RX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-02	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-26	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-03	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-27	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-06	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-03-29	RX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-12	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-01	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-13	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-15	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-14	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-16	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-16	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-21	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-18	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-24	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-19	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-04-28	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-20	RX Cas, SX Cas, W Ser	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS	2019-05-07	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	R. Neito	Zeiss 600
2018-09-24	RX Cas, SX Cas	B, V, R, I	T. Eennmäe	RAITS					

pleki intensiivsuse muutusest sügisese (RAITS) ja kevadise (Zeiss 600) vaatlushooaja vahel. Intensiivsuse muutus on tõenäoliselt põhjustatud aine ülekande kiiruse muutusest, kuid selle taga võib olla ka akretsiooniketta tiheduse muutus.

Lisaks heledus- ja faasikõveratele koostati tähtede värvusindekseid kujutav joonis (vt joonis 4.2). Faasikõveraid võrreldes on näha, et kolmest tähest on RX Cas vaatlused kõige enam sattunud peamiinimumi lähedusse, mis lisaks Tallinna Tähetorni andmetele ((Kalv et al., 2008)) oli ajendiks kasutada just selle tähe andmeid, et moodustada eelnevalt kirjeldatud viisil reeperkõverad.

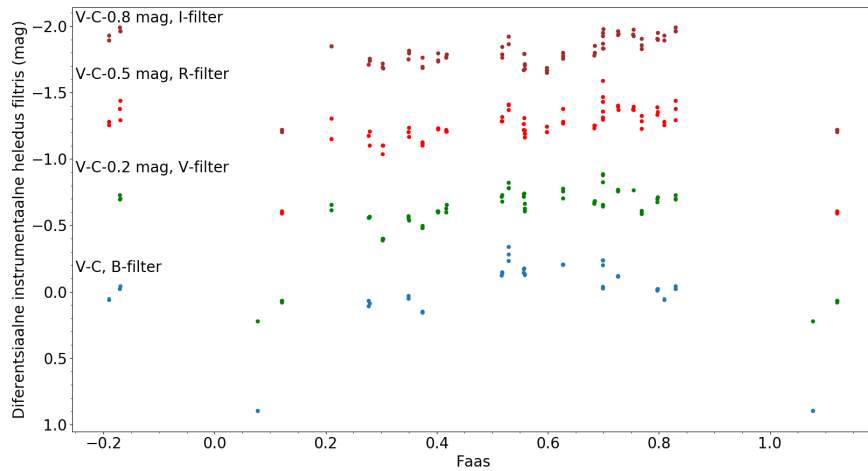
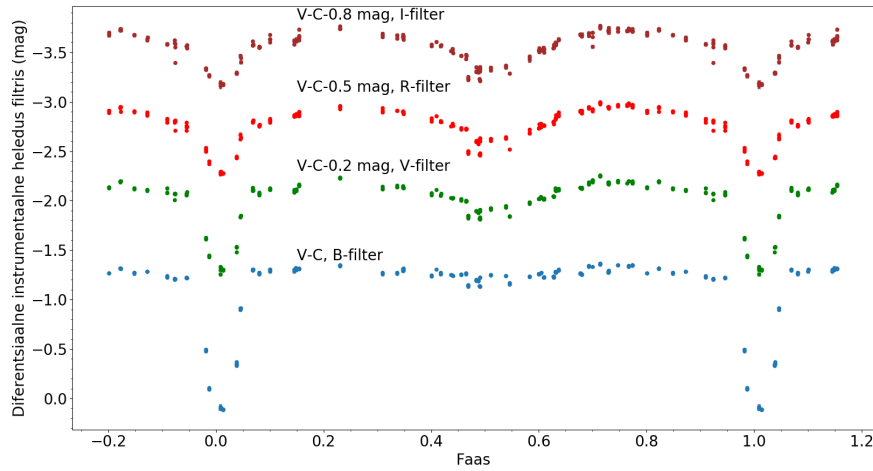
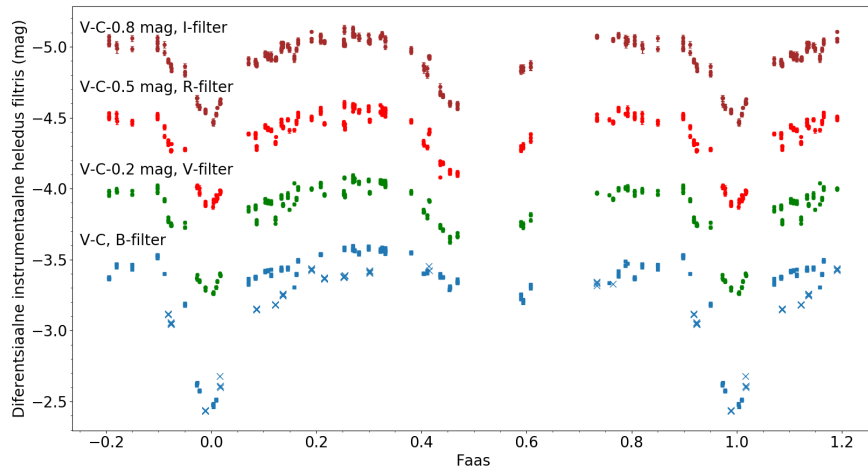
Järgnevalt sobitas programm B ja V-filtri kõveraid igas orbitaalperioodis, milles oli andmepunkte. Seejuures oli oluline, et punkte oleks eeldatavate peamiinimumide läheduses, kuna reeperkõverate määramispiirkondadest välja jäävad punktid on reeglina väljaspool kõverate muutumispiirkondi. Nimelt sobitab programm reeperkõvera punktide heleduste väärtusi andmepunktide heleduste väärtustega ning väljaspool nimetatud määramispiirkonda on andmepunktide heleduste väärtused suuremad reeperkõvera äärmiste punktide heleduste väärtustest. Reeperkõvera sobitamist on kujutatud joonisel 4.3. Kuigi reeperkõveraid loodi vaid RX Cas andmete põhjal, saab teiste tähtede heleduste kohta kogutud vaatlusandmeid tulevikus rakendada samal eesmärgil.

Esmalt sobitati kõverad töö käigus kogutud andmepunktidest ning leitud peamiinimumide hetked B ja V-filtris keskmistati. Saadud tulemusi võrreldi Kalv et al. (2008) (valem 4.1) ning Erdem ja Öztürk (2014) (valem 4.2) töödes välja toodud valemite ennustustega vastavate peamiinimumide hetkede kohta. Erdem ja Öztürk (2014) töös kasutati Kreiner et al. (2001) poolt leitud peamiinimumi, perioodi ja ruutliikme kordaja väärtuseid. Võrdlused käesolevas töös leitud ja nimetatud tööde põhjal ennustatud peamiinimumide vahel on välja toodud tabelis 4.3.

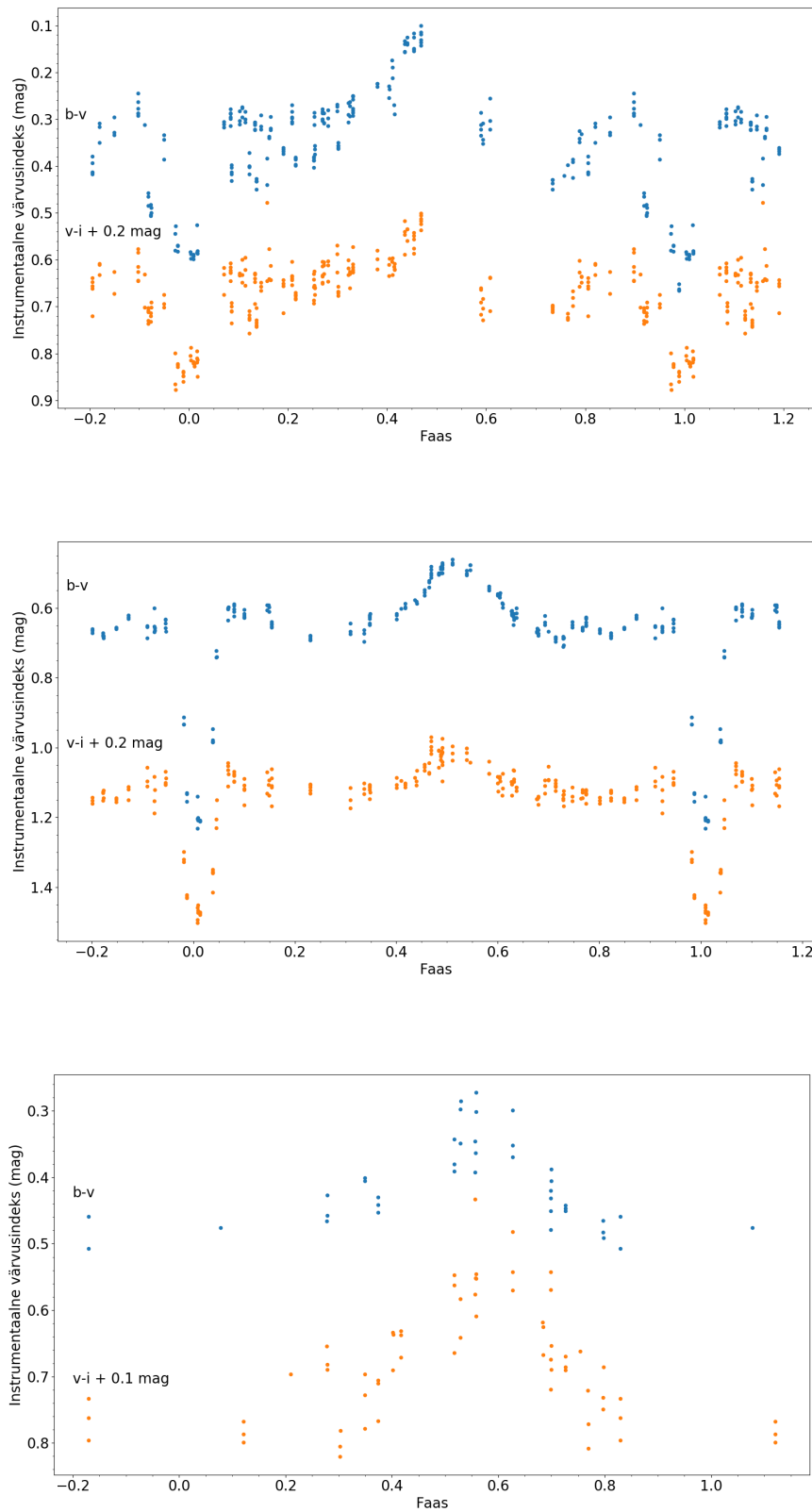
$$T_{min,Kalv} = 2416251.0654 + 32.31095 \cdot E + 1.156 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \quad (4.1)$$

$$T_{min,Erdem} = 2446827.6 + 32.3330 \cdot E + 1.17368 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \quad (4.2)$$

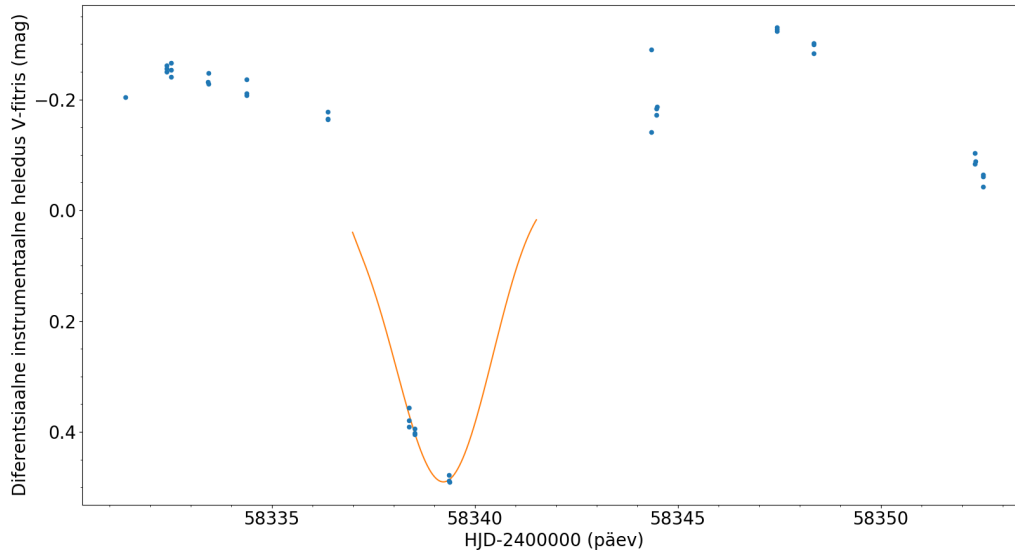
Tulemustest selgub, et nii Kalv et al. (2008) kui ka Kreiner et al. (2001) ennustavad kiiremat orbitaalperioodi pikenemist kui töö käigus kogutud andmed viitavad. Seetõttu sobitati eelnevalt koostatud reeperkõverad ka Tallinna Tähetorni andmetesse ning sarnaselt Kalv et al. (2008) ja Erdem ja Öztürk (2014) töödele tekitati tähe RX Cas O-C kõver. Kõvera tekitamisel kasutati nii käesoleva vaatlusperioodi põhjal leitud peamiinimumide hetki kui ka Tallinna Tähetorni andmete põhjal leitud peamiinimumide hetki. O-C kõverat ja sobitatud parabooli on kujutatud joonisel 4.4 ning kasutatud peamiinimumide hetked on välja toodud lisas C.



Joonis 4.1: Tähtede RX Cas (ülemine), SX Cas (keskmine) ja W Ser (alumine) faasikõverad. RX Cas B-filtri puhul on ruutudega tähistatud teleskoobiga RAITS tehtud vaatlused ning ristidega tähistatud teleskoobiga Zeiss 600 tehtud vaatlused. Tähe RX Cas faasikõveral on B ja V-filtrites märgatav mõõtmistulemuste hajumine.



Joonis 4.2: RX Cas (ülemine), SX Cas (keskmine) ja W Ser (alumine) värvusindeksite kõverad. Värvusindeks mõõdab kontinuumi ehk pidevspektri kallakust kahe filtri vahel, mistõttu on sinised tähed negatiivse ja punased positiivse (ehk vastupidise) näiteks B-V indeksiga.

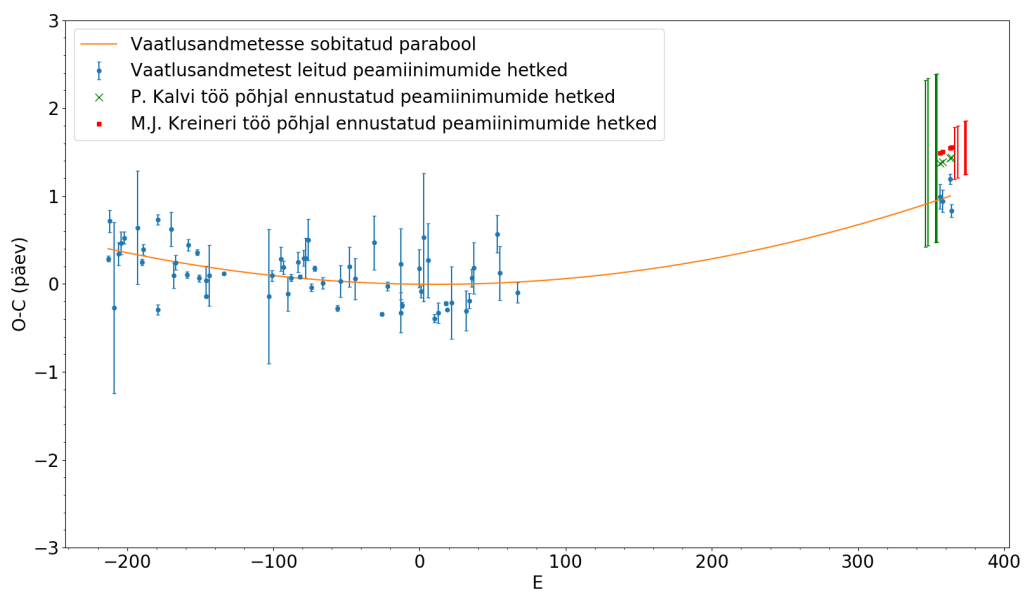


Joonis 4.3: Reeperkõvera andmetesse sobitamine.

Sobitatud parabooli ruutliikme kordaja väärtuseks on $0,8096(1112) \cdot 10^{-5}$ (päev), mis on väiksem nii Kalv et al. (2008) kui ka Kreiner et al. (2001) poolt leitud kordajatest (vastavalt $1,1560(400) \cdot 10^{-5}$ (päev) ja $1,1737(408) \cdot 10^{-5}$ (päev)). Selle tulemuse põhjal püstitati hüpotees, et tähe RX Cas orbitaalperioodi pikenemine on aeglustunud võrreldes varasemate hinnangutega, kuid selle kinnitamiseks on vajalik koguda täiendavaid andmeid. Lisaks sellele kasutati töö käigus leitud ruutliikmekordajat koos Kreiner et al. (2001) poolt leitud peamiinimumi ja perioodi väärtusega, et hinnata RX Cas perioodi pikkust käesoleval vaatlushooajal. Arvutusteks kasutati kõige hilisemale töö käigus leitud peamiinimumi väärtusele vastava tsükli ja sellele järgneva tsükli arve ning hinnanguliseks RX Cas orbitaalperioodi pikkuseks käesoleval vaatlushooajal oli 32.339(2) päeva.

Tabel 4.3: Töö käigus leitud peamiinimumide hetkede võrdlus Kalv et al. (2008) ning Kreiner et al. (2001) tööde põhjal ennustatavate peamiinimumide hetkedega, mida tähistavad vastavalt T_{TO} , T_{Kalv} ja $T_{Kreiner}$ ning $\Delta T_{TO-Kalv}$ ja $\Delta T_{TO-Kreiner}$ tähistavad käesoleva töö ja nimetatud tööde ennustuste vahesid.

T_{TO} HJD- 2400000	T_{Kalv} HJD- 2400000	$T_{Kreiner}$ HJD- 2400000	$\Delta T_{TO-Kalv}$	$\Delta T_{TO-Kreiner}$
58597.644	58598.248	58598.367	0.604	0.723
58565.671	58565.907	58566.026	0.236	0.355
58403.756	58404.201	58404.318	0.445	0.562
58339.143	58339.519	58339.635	0.376	0.492



Joonis 4.4: Tähe RX Cas O-C kõver ja sellesse sobitatud parabool. E on epohh ehk tsükli number ning nullpunktile vastab Kreiner et al. (2001) poolt leitud peamiinimumi väärtus $T_0 = 2446827.6(\text{HJD})$. Lisaks sellele on joonisel kujutatud Kalv et al. (2008) ning Kreiner et al. (2001) tööde põhjal ennustatud peamiinimumide hetkede vastavaid punkte koos määramatustega.

Peatükk 5

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärkideks oli koguda tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser kohta fotomeetrilisi vaatlusandmeid, tekitatada nendest tähtede heledus- ja faasikõverad, kasutada tähe RX Cas vaatlusandmeid, et moodustada reeperkõverad ja määrata peavarjutuste keskmomendid ning võrrelda neid varasemalt tehtud tööde ennustustega.

Töö teoreetilises osas kirjeldati Algol-tüüpi kaksiktähesüsteeme, fotomeetriliste andmete eeltöötlust ning apertuurfotomeetria kui ühte levinumatest meetoditest tähtede heleduste mõõtmiseks. Töö praktilises osas kirjutati programm, mis mõõtis apertuurfotomeetria meetodil tähtede RX Cas, SX Cas, W Ser ning nende võrdlustähtede instrumentaalsed heledused ja koostas mõõdetud andmete põhjal tähtede heledus-, faasi ja värvusindeksite kõverad. Seejärel kasutas programm töö käigus ja Tallinna Tähetornis kogutud andmeid (Kalv et al., 2008), et moodustada tähe RX Cas reeperkõverad B ja V-filtrites, mis sobitati seejärel nimetatud andmetesse ja leiti peamiinimumide hetked. Viimase sammuna koostati leitud peamiinimumidest tähe RX Cas O-C kõver ja sobitati selle põhjal parabool, mille ruutliikme kordaja kirjeldab tähe orbitaalperioodi muutuse kiirust.

Töö tulemusena leiti, et eelnevate tööde (Kalv et al., 2008; Kreiner et al., 2001; Erdem ja Öztürk, 2014) põhjal tehtud ennustused käesoleva vaatlusperioodi peamiinimumide hetkede kohta ei vasta vaatlustest määratud peamiinimumide hetkedele. Lisaks sellele on töö käigus sobitatud parabooli ruutliikme kordaja väiksem nimetatud töödes leitud kordajatest, mis viitab sellele, et tähe RX Cas orbitaalperioodi pikenemine on aeglustunud.

Kirjandus

- Bessell, M. S. (1990). UBVRI passbands. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 102:1181–1199.
- Erdem, A. ja Öztürk, O. (2014). Non-conservative mass transfers in Algols. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 441(2):1166–1176.
- Hilditch, R. W. (2001). *An Introduction to Close Binary Stars*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Howell, S. B. (2006). *Handbook of CCD Astronomy*, volume 5 of *Cambridge observing handbooks for research astronomers*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2 edition.
- Kalv, P., Aas, T., ja Harvig, V. (2008). Observations of RX Cassiopeiae. *Tallinna Observatory*, V(5):7–41. <http://parsek.yf.ttu.ee/mars/publikatsioonid/publ3.htm>.
- Kreiner, J. M., Kim, C.-H., ja Nha, I.-S. (2001). *An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Pedagogicznej, Cracow, Poland.
- Mennickent, R. E. ja Kołaczkowski, Z. (2010). Interacting Binary Stars Environments and the W Ser-DPV-Algol Connection. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, volume 38 of *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, pages 23–26.
- Nguyen, Q. (2004). Roche model.
<https://web.archive.org/web/20070323212330/http://mintaka.sdsu.edu/faculty/quyen/node10.html>.
- Nguyen, Q. ja Etzel, P. (1999). Doppler tomography of the accretion disk in the Algol binary KU Cygni. In *Bulletin of the American Astronomical Society*, volume 31, page 1485.
- Peris, V. ja Conejero, J. (2019). Photometry-based color calibration in PixInsight. <http://pixinsight.com/tutorials/PCC/>.
- Plavec, M. J. (1980). IUE observations of long period eclipsing binaries: A study of accretion

onto non-degenerate stars. In *Symposium-International Astronomical Union*, volume 88, pages 251–261. Cambridge University Press.

Stetson, P. B. (1987). Daophot - a computer program for crowded-field stellar photometry. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 99:191–222.

Strupat, W., Drechsel, H., ja Rahe, J. (1985). W Serpentis stars -A new class of interacting binaries. *The Messenger*, 39:40–42.

Lisa A

Tähtede instrumentaalsed heledused

Järgnevates tabelites on toodud tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused koos määramatuste ning taandatud HJD-dega. Tabelites tähistab Δ diferentsiaalset instrumentaalset heledust eelnevalt nimetatud võrdlustähtede suhtes. Kuni HJD 2458539 on mõõtmised tehtud teleskoobiga RAITS, seejärel on mõõtmised tehtud teleskoobiga Zeits 600.

Tabel A.1: RX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused B-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb
58331.378	-3.334(016)	58358.428	-3.195(013)	58382.284	-3.563(009)	58541.474	-3.390(006)
58332.394	-3.457(013)	58358.430	-3.218(013)	58382.286	-3.558(009)	58541.476	-3.384(007)
58332.397	-3.459(013)	58358.431	-3.210(013)	58386.239	-3.286(016)	58541.478	-3.389(015)
58332.400	-3.487(013)	58364.295	-3.380(009)	58386.252	-3.298(009)	58565.251	-2.436(007)
58332.510	-3.472(024)	58364.297	-3.398(009)	58386.254	-3.302(009)	58565.253	-2.435(007)
58333.422	-3.465(018)	58364.299	-3.418(009)	58386.257	-3.308(010)	58565.256	-2.432(006)
58333.425	-3.448(015)	58365.274	-3.372(013)	58386.260	-3.311(010)	58565.258	-2.440(006)
58333.428	-3.469(015)	58365.276	-3.364(013)	58386.262	-3.298(010)	58568.397	-3.153(005)
58334.365	-3.465(013)	58365.277	-3.366(012)	58391.226	-3.323(014)	58568.400	-3.147(005)
58334.367	-3.430(012)	58365.280	-3.368(014)	58391.228	-3.298(012)	58568.402	-3.15(005)
58334.370	-3.453(012)	58365.282	-3.366(013)	58391.230	-3.313(011)	58568.405	-3.152(005)
58336.370	-3.401(011)	58365.284	-3.376(014)	58402.288	-3.191(009)	58568.407	-3.153(007)
58338.362	-2.627(012)	58368.267	-3.530(013)	58402.290	-3.185(009)	58569.559	-3.182(005)
58338.365	-2.613(011)	58368.269	-3.524(013)	58402.292	-3.177(009)	58569.561	-3.180(005)
58338.368	-2.631(011)	58368.270	-3.532(012)	58404.211	-2.511(010)	58569.563	-3.183(005)
58338.508	-2.574(011)	58368.273	-3.511(011)	58404.213	-2.506(010)	58569.566	-3.185(005)
58338.510	-2.573(012)	58368.275	-3.514(011)	58404.215	-2.516(010)	58569.568	-3.180(005)
58338.513	-2.578(012)	58368.276	-3.528(011)	58406.209	-3.323(009)	58572.571	-3.363(006)
58339.357	-2.478(012)	58374.301	-3.371(008)	58406.211	-3.342(009)	58572.573	-3.371(006)
58339.360	-2.485(012)	58374.303	-3.377(008)	58406.213	-3.364(009)	58572.575	-3.368(006)
58339.363	-2.463(012)	58374.304	-3.367(008)	58407.221	-3.414(009)	58572.578	-3.373(006)
58344.342	-3.307(012)	58374.308	-3.383(008)	58407.223	-3.424(009)	58572.580	-3.371(006)
58344.467	-3.400(009)	58374.309	-3.379(008)	58407.224	-3.420(009)	58575.348	-3.416(006)
58344.470	-3.393(009)	58374.311	-3.377(008)	58407.394	-3.426(009)	58575.350	-3.421(006)
58344.473	-3.400(009)	58375.261	-3.429(009)	58407.396	-3.421(009)	58575.352	-3.416(006)
58347.424	-3.567(010)	58375.262	-3.386(009)	58407.397	-3.424(009)	58575.353	-3.406(006)
58347.427	-3.582(010)	58375.264	-3.397(009)	58408.211	-3.422(010)	58575.355	-3.413(006)
58347.430	-3.588(010)	58376.271	-3.432(009)	58408.213	-3.428(010)	58589.339	-3.317(007)
58348.332	-3.553(012)	58376.273	-3.447(009)	58408.214	-3.430(010)	58589.341	-3.342(007)
58348.334	-3.538(012)	58376.275	-3.446(008)	58408.217	-3.445(010)	58589.346	-3.331(007)
58348.337	-3.552(012)	58378.300	-3.534(008)	58408.218	-3.429(010)	58589.348	-3.338(007)
58352.312	-3.405(013)	58378.302	-3.531(008)	58408.220	-3.428(010)	58590.331	-3.329(006)
58352.314	-3.399(012)	58378.303	-3.535(008)	58409.245	-3.488(009)	58595.292	-3.116(011)
58352.315	-3.402(012)	58378.308	-3.536(008)	58409.247	-3.488(009)	58595.296	-3.112(009)
58352.514	-3.418(009)	58378.310	-3.538(008)	58409.248	-3.498(009)	58595.298	-3.120(009)
58352.515	-3.422(010)	58378.312	-3.542(008)	58414.311	-3.575(009)	58595.474	-3.051(008)
58352.517	-3.402(009)	58380.287	-3.586(008)	58414.313	-3.556(009)	58595.476	-3.042(008)
58353.311	-3.374(013)	58380.289	-3.596(008)	58414.314	-3.559(009)	58595.478	-3.058(008)
58353.315	-3.400(012)	58380.291	-3.569(008)	58414.413	-3.571(009)	58595.480	-3.048(008)
58353.317	-3.389(011)	58380.293	-3.567(008)	58414.414	-3.587(009)	58595.482	-3.048(008)
58353.319	-3.389(.01)	58380.295	-3.579(008)	58414.416	-3.558(009)	58598.492	-2.677(009)
58353.477	-3.378(008)	58380.297	-3.566(008)	58416.218	-3.543(011)	58598.494	-2.605(009)
58353.479	-3.375(008)	58380.383	-3.567(008)	58416.220	-3.552(011)	58598.497	-2.597(009)
58353.481	-3.376(008)	58380.384	-3.560(008)	58416.221	-3.553(011)	58598.499	-2.611(009)
58354.389	-3.337(009)	58380.386	-3.564(008)	58539.436	-3.425(004)	58602.348	-3.247(007)
58354.391	-3.348(008)	58381.268	-3.572(009)	58539.438	-3.431(004)	58602.351	-3.255(007)
58354.393	-3.344(009)	58381.270	-3.584(009)	58539.441	-3.431(004)	58602.353	-3.244(007)
58354.396	-3.345(009)	58381.272	-3.595(009)	58539.446	-3.439(004)	58602.355	-3.255(007)
58354.398	-3.335(009)	58382.271	-3.564(009)	58541.419	-3.373(005)	58602.358	-3.260(007)
58354.400	-3.364(009)	58382.273	-3.582(009)	58541.421	-3.381(005)	58611.348	-3.453(008)
58358.299	-3.231(013)	58382.276	-3.560(009)	58541.423	-3.378(005)	58611.352	-3.421(008)
58358.302	-3.252(011)	58382.277	-3.575(009)	58541.425	-3.382(005)		
58358.304	-3.257(011)	58382.279	-3.559(009)	58541.428	-3.378(005)		
58358.305	-3.220(011)	58382.282	-3.542(009)	58541.472	-3.376(006)		

Tabel A.2: RX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused V-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv
58331.379	-3.754(012)	58358.306	-3.542(014)	58386.258	-3.424(012)	58568.400	-3.578(005)
58332.395	-3.805(011)	58358.429	-3.548(015)	58386.260	-3.461(012)	58568.403	-3.567(005)
58332.398	-3.800(011)	58358.430	-3.527(015)	58386.262	-3.423(012)	58568.405	-3.564(005)
58332.400	-3.812(010)	58358.432	-3.554(015)	58391.226	-3.578(014)	58568.408	-3.555(005)
58332.511	-3.804(013)	58364.296	-3.805(012)	58391.228	-3.619(014)	58569.560	-3.582(005)
58332.513	-3.790(012)	58364.297	-3.790(011)	58391.230	-3.616(014)	58569.562	-3.581(005)
58332.516	-3.816(014)	58364.299	-3.804(012)	58402.289	-3.525(011)	58569.564	-3.555(005)
58333.423	-3.781(014)	58365.275	-3.752(014)	58402.291	-3.528(012)	58569.566	-3.586(005)
58333.426	-3.798(013)	58365.276	-3.777(014)	58402.293	-3.563(011)	58569.568	-3.597(005)
58333.429	-3.778(014)	58365.278	-3.759(014)	58404.211	-3.104(012)	58570.419	-3.652(010)
58334.365	-3.761(010)	58365.281	-3.782(014)	58404.213	-3.105(012)	58572.572	-3.761(005)
58334.368	-3.758(010)	58365.282	-3.783(014)	58404.216	-3.105(012)	58572.574	-3.752(005)
58334.371	-3.787(010)	58368.267	-3.822(014)	58406.209	-3.640(011)	58572.576	-3.764(005)
58336.365	-3.727(010)	58368.269	-3.810(014)	58406.211	-3.652(012)	58572.578	-3.756(005)
58336.368	-3.715(010)	58368.271	-3.777(013)	58406.213	-3.670(012)	58572.581	-3.757(005)
58336.371	-3.713(010)	58368.274	-3.774(014)	58407.222	-3.724(011)	58575.349	-3.773(006)
58338.363	-3.171(010)	58368.275	-3.802(013)	58407.223	-3.727(011)	58575.351	-3.778(006)
58338.366	-3.193(010)	58368.277	-3.805(013)	58407.225	-3.703(011)	58575.352	-3.766(006)
58338.369	-3.160(010)	58374.302	-3.670(011)	58407.395	-3.702(011)	58575.354	-3.767(006)
58338.508	-3.145(010)	58374.303	-3.665(011)	58407.396	-3.716(011)	58575.356	-3.776(006)
58338.511	-3.156(011)	58374.305	-3.681(011)	58407.398	-3.698(011)	58589.340	-3.767(005)
58338.514	-3.148(010)	58374.308	-3.679(011)	58408.212	-3.732(012)	58589.342	-3.771(005)
58339.358	-3.062(011)	58374.310	-3.657(011)	58408.213	-3.734(012)	58589.344	-3.772(005)
58339.361	-3.073(010)	58374.312	-3.665(011)	58408.215	-3.753(012)	58589.346	-3.767(005)
58339.364	-3.060(011)	58375.261	-3.713(012)	58408.217	-3.751(012)	58589.348	-3.767(005)
58344.340	-3.691(010)	58375.263	-3.693(012)	58408.219	-3.751(012)	58590.329	-3.731(004)
58344.343	-3.840(011)	58375.265	-3.697(012)	58408.220	-3.740(012)	58590.332	-3.726(004)
58344.468	-3.722(009)	58376.272	-3.746(011)	58409.246	-3.807(012)	58590.335	-3.732(004)
58344.471	-3.734(009)	58376.273	-3.737(011)	58409.247	-3.810(012)	58590.338	-3.722(004)
58344.473	-3.737(009)	58376.275	-3.768(012)	58409.249	-3.792(011)	58590.342	-3.728(004)
58347.425	-3.880(010)	58378.301	-3.818(011)	58414.312	-3.840(011)	58595.293	-3.601(006)
58347.428	-3.877(010)	58378.302	-3.840(012)	58414.313	-3.862(011)	58595.295	-3.586(006)
58347.430	-3.873(010)	58378.304	-3.831(011)	58414.315	-3.850(011)	58595.297	-3.577(006)
58348.332	-3.834(011)	58378.309	-3.833(011)	58414.413	-3.834(011)	58595.299	-3.577(005)
58348.335	-3.852(010)	58378.311	-3.844(011)	58414.415	-3.859(011)	58595.301	-3.566(005)
58348.338	-3.849(010)	58378.312	-3.811(011)	58414.416	-3.852(011)	58595.475	-3.557(006)
58352.312	-3.634(011)	58380.288	-3.886(011)	58416.218	-3.767(012)	58595.477	-3.546(006)
58352.314	-3.654(011)	58380.290	-3.896(011)	58416.220	-3.776(012)	58595.478	-3.540(006)
58352.316	-3.638(011)	58380.291	-3.872(011)	58416.222	-3.783(012)	58595.480	-3.537(005)
58352.514	-3.592(009)	58380.294	-3.845(011)	58539.437	-3.793(004)	58595.482	-3.548(005)
58352.516	-3.611(009)	58380.296	-3.866(011)	58539.439	-3.804(004)	58598.310	-3.143(006)
58352.517	-3.614(009)	58380.298	-3.850(011)	58539.442	-3.795(004)	58598.318	-3.149(006)
58353.312	-3.530(011)	58380.383	-3.854(011)	58539.444	-3.801(004)	58598.490	-3.196(006)
58353.315	-3.539(009)	58380.385	-3.869(011)	58539.447	-3.801(004)	58598.493	-3.203(006)
58353.317	-3.544(009)	58380.387	-3.872(011)	58541.419	-3.756(006)	58598.495	-3.189(006)
58353.319	-3.522(009)	58381.269	-3.855(012)	58541.422	-3.769(006)	58598.498	-3.183(006)
58353.478	-3.502(008)	58381.271	-3.857(012)	58541.424	-3.759(006)	58598.500	-3.192(006)
58353.480	-3.515(008)	58381.272	-3.864(012)	58541.426	-3.785(006)	58602.349	-3.680(005)
58353.481	-3.513(008)	58382.272	-3.856(012)	58541.429	-3.766(006)	58602.351	-3.688(005)
58354.390	-3.467(008)	58382.274	-3.831(012)	58541.473	-3.740(008)	58602.353	-3.695(005)
58354.392	-3.467(008)	58382.276	-3.837(012)	58541.475	-3.747(010)	58602.356	-3.688(005)
58354.394	-3.458(008)	58382.278	-3.825(011)	58541.477	-3.759(011)	58602.359	-3.687(005)
58354.397	-3.488(011)	58382.280	-3.817(012)	58565.250	-3.104(005)	58611.349	-3.722(005)
58354.399	-3.471(010)	58382.283	-3.824(012)	58565.252	-3.102(005)	58611.351	-3.715(005)
58354.400	-3.464(010)	58382.285	-3.814(012)	58565.254	-3.097(005)	58611.353	-3.710(005)
58358.299	-3.566(011)	58382.286	-3.843(012)	58565.256	-3.084(005)	58611.355	-3.708(005)
58358.303	-3.565(013)	58386.253	-3.452(012)	58565.258	-3.105(005)		
58358.304	-3.542(013)	58386.255	-3.453(012)	58568.398	-3.551(005)		

Tabel A.3: RX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused R-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr
58331.379	-3.986(015)	58358.432	-3.793(014)	58386.263	-3.618(012)	58568.406	-3.800(006)
58332.398	-4.027(015)	58364.296	-4.069(012)	58391.227	-3.857(014)	58568.408	-3.774(006)
58332.511	-4.015(015)	58364.298	-4.047(011)	58391.229	-3.883(014)	58569.560	-3.816(006)
58332.514	-4.031(016)	58364.299	-4.060(011)	58391.231	-3.835(014)	58569.562	-3.827(006)
58332.517	-4.068(017)	58365.275	-4.005(013)	58402.289	-3.780(011)	58569.565	-3.830(006)
58333.424	-4.029(019)	58365.276	-4.031(013)	58402.291	-3.776(011)	58569.567	-3.823(006)
58333.426	-3.995(018)	58365.278	-3.994(013)	58402.293	-3.774(011)	58569.569	-3.867(006)
58333.429	-3.974(022)	58365.281	-4.013(013)	58404.212	-3.425(012)	58570.419	-3.910(017)
58334.366	-3.975(014)	58365.283	-4.001(013)	58404.214	-3.414(011)	58572.572	-3.965(006)
58334.369	-3.955(014)	58368.268	-4.005(013)	58404.216	-3.454(012)	58572.574	-3.958(006)
58334.372	-3.977(014)	58368.269	-4.012(013)	58406.210	-3.883(011)	58572.577	-3.954(006)
58336.366	-3.928(014)	58368.271	-4.027(013)	58406.212	-3.889(011)	58572.579	-3.956(006)
58336.369	-3.870(014)	58368.274	-4.019(013)	58406.214	-3.887(011)	58572.581	-3.956(006)
58336.371	-3.940(014)	58368.275	-3.993(013)	58407.222	-3.946(011)	58575.349	-3.975(008)
58338.364	-3.512(014)	58368.277	-3.994(012)	58407.224	-3.950(011)	58575.351	-3.986(009)
58338.367	-3.508(014)	58374.302	-3.858(011)	58407.225	-3.932(011)	58575.353	-3.985(008)
58338.369	-3.522(014)	58374.304	-3.891(011)	58407.395	-3.917(011)	58575.354	-3.971(008)
58338.509	-3.462(016)	58374.305	-3.881(011)	58407.397	-3.913(011)	58575.356	-3.988(008)
58338.512	-3.475(014)	58374.308	-3.875(011)	58407.398	-3.931(011)	58589.340	-3.979(006)
58338.515	-3.505(016)	58374.310	-3.891(011)	58408.212	-3.988(012)	58589.342	-3.989(007)
58339.359	-3.372(014)	58374.312	-3.884(011)	58408.213	-3.966(012)	58589.345	-3.989(007)
58339.362	-3.423(014)	58375.262	-3.911(011)	58408.215	-3.966(012)	58589.347	-4.001(007)
58339.364	-3.402(014)	58375.263	-3.906(012)	58408.217	-3.987(012)	58589.349	-4.023(007)
58344.347	-3.914(014)	58375.265	-3.919(011)	58408.219	-3.944(011)	58590.329	-3.975(005)
58344.469	-3.960(013)	58376.272	-3.991(011)	58408.221	-3.964(011)	58590.333	-3.966(005)
58344.471	-3.977(013)	58376.274	-3.985(011)	58409.246	-4.022(011)	58590.335	-3.965(005)
58344.474	-3.974(013)	58376.275	-3.982(011)	58409.248	-4.035(011)	58590.339	-3.959(006)
58347.425	-4.078(014)	58378.301	-4.043(011)	58409.249	-4.006(011)	58590.342	-3.971(005)
58347.428	-4.093(014)	58378.302	-4.056(011)	58414.312	-4.046(011)	58595.293	-3.807(008)
58347.431	-4.109(014)	58378.304	-4.050(011)	58414.313	-4.089(011)	58595.295	-3.827(008)
58348.333	-4.051(014)	58378.309	-4.028(011)	58414.315	-4.036(010)	58595.297	-3.843(008)
58348.336	-4.038(014)	58378.311	-4.039(011)	58414.414	-4.075(011)	58595.299	-3.822(008)
58348.339	-4.054(014)	58378.312	-4.070(011)	58414.415	-4.047(011)	58595.302	-3.822(008)
58352.313	-3.816(015)	58380.288	-4.091(011)	58414.417	-4.021(011)	58595.475	-3.765(007)
58352.314	-3.835(015)	58380.290	-4.096(011)	58416.219	-3.981(012)	58595.477	-3.769(007)
58352.316	-3.809(015)	58380.291	-4.046(011)	58416.220	-3.984(012)	58595.479	-3.774(007)
58352.515	-3.787(013)	58380.294	-4.077(011)	58416.222	-3.968(011)	58595.481	-3.772(007)
58352.516	-3.794(013)	58380.296	-4.069(011)	58539.437	-3.993(005)	58595.483	-3.815(007)
58352.518	-3.796(013)	58380.299	-4.080(011)	58539.440	-3.984(005)	58598.308	-3.440(007)
58353.312	-3.670(015)	58380.384	-4.066(011)	58539.442	-4.002(005)	58598.311	-3.433(007)
58353.316	-3.685(008)	58380.385	-4.091(011)	58539.445	-3.999(005)	58598.319	-3.430(007)
58353.318	-3.579(008)	58380.387	-4.088(011)	58539.447	-4.011(005)	58598.491	-3.490(007)
58353.320	-3.694(008)	58381.269	-4.068(012)	58541.420	-3.970(008)	58598.493	-3.463(007)
58353.478	-3.676(009)	58381.271	-4.049(011)	58541.422	-3.956(008)	58598.496	-3.485(007)
58353.480	-3.686(009)	58381.273	-4.081(012)	58541.424	-3.950(008)	58598.498	-3.483(007)
58353.482	-3.674(009)	58382.272	-4.067(012)	58541.426	-3.961(008)	58598.501	-3.474(007)
58354.390	-3.612(009)	58382.274	-4.056(012)	58541.429	-3.954(008)	58602.349	-3.939(007)
58354.392	-3.610(009)	58382.277	-4.031(011)	58541.473	-3.918(009)	58602.352	-3.938(007)
58354.394	-3.600(009)	58382.278	-4.011(011)	58541.475	-3.955(010)	58602.354	-3.936(006)
58354.397	-3.618(011)	58382.280	-4.050(011)	58541.477	-3.932(014)	58602.356	-3.934(007)
58354.399	-3.608(011)	58382.283	-4.049(012)	58565.250	-3.379(008)	58602.359	-3.928(007)
58354.401	-3.593(011)	58382.285	-4.037(012)	58565.252	-3.397(008)	58611.348	-3.888(006)
58358.300	-3.770(014)	58382.287	-4.054(012)	58565.255	-3.409(008)	58611.349	-3.884(007)
58358.303	-3.771(013)	58386.251	-3.626(012)	58565.257	-3.387(008)	58611.351	-3.919(007)
58358.305	-3.799(013)	58386.253	-3.607(012)	58565.259	-3.387(008)	58611.353	-3.899(007)
58358.306	-3.780(013)	58386.255	-3.625(012)	58568.399	-3.802(006)	58611.355	-3.900(007)
58358.429	-3.789(014)	58386.258	-3.632(012)	58568.401	-3.801(006)		
58358.431	-3.812(014)	58386.261	-3.608(012)	58568.403	-3.787(006)		

Tabel A.4: RX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused I-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi
58332.396	-4.263(021)	58358.433	-4.057(018)	58391.229	-4.058(020)	58569.561	-4.110(007)
58332.399	-4.226(020)	58364.296	-4.286(016)	58391.231	-4.054(019)	58569.570	-4.116(008)
58332.402	-4.214(020)	58364.298	-4.288(015)	58402.290	-4.020(016)	58569.563	-4.106(007)
58332.512	-4.239(021)	58364.300	-4.271(015)	58402.292	-4.002(016)	58569.570	-4.105(008)
58332.515	-4.239(020)	58365.275	-4.272(017)	58402.294	-4.065(016)	58569.565	-4.112(007)
58332.517	-4.253(022)	58365.277	-4.224(017)	58404.212	-3.722(016)	58569.570	-4.112(008)
58333.424	-4.213(025)	58365.278	-4.215(017)	58404.214	-3.725(015)	58569.567	-4.103(007)
58333.427	-4.206(026)	58365.281	-4.244(017)	58404.216	-3.726(015)	58569.571	-4.127(008)
58333.430	-4.189(035)	58365.283	-4.221(017)	58406.210	-4.115(016)	58569.569	-4.107(007)
58334.369	-4.183(019)	58368.268	-4.266(017)	58406.212	-4.084(015)	58570.420	-4.179(016)
58334.372	-4.259(020)	58368.270	-4.236(017)	58406.214	-4.087(016)	58570.423	-4.19(027)
58336.366	-4.158(020)	58368.271	-4.222(017)	58407.222	-4.154(015)	58572.572	-4.243(006)
58336.372	-4.215(023)	58368.274	-4.189(017)	58407.224	-4.159(015)	58572.575	-4.236(006)
58338.364	-3.837(021)	58368.276	-4.187(016)	58407.226	-4.137(015)	58572.577	-4.241(006)
58338.367	-3.793(019)	58368.277	-4.181(017)	58407.395	-4.151(015)	58572.579	-4.226(006)
58338.370	-3.837(021)	58374.302	-4.077(015)	58407.397	-4.115(015)	58572.581	-4.231(006)
58338.510	-3.774(019)	58374.304	-4.092(015)	58407.398	-4.131(015)	58575.350	-4.241(009)
58338.512	-3.777(020)	58374.306	-4.104(015)	58408.212	-4.226(016)	58575.351	-4.249(009)
58338.515	-3.772(020)	58374.309	-4.094(015)	58408.214	-4.181(015)	58575.353	-4.234(009)
58339.359	-3.666(019)	58374.310	-4.103(015)	58408.215	-4.193(016)	58575.354	-4.224(009)
58339.362	-3.660(019)	58374.312	-4.092(015)	58408.218	-4.182(016)	58575.356	-4.252(009)
58339.365	-3.674(019)	58375.262	-4.108(016)	58408.219	-4.181(016)	58589.341	-4.275(007)
58344.342	-4.135(020)	58375.264	-4.148(016)	58408.221	-4.168(016)	58589.343	-4.274(007)
58344.344	-4.118(021)	58375.265	-4.118(017)	58409.246	-4.250(015)	58589.345	-4.269(007)
58344.347	-4.111(020)	58376.272	-4.203(016)	58409.248	-4.223(015)	58589.347	-4.279(007)
58344.469	-4.183(018)	58376.274	-4.203(016)	58409.249	-4.236(015)	58589.349	-4.266(007)
58344.472	-4.178(018)	58376.276	-4.216(015)	58414.312	-4.272(015)	58590.333	-4.253(006)
58347.426	-4.304(019)	58378.301	-4.272(015)	58414.314	-4.263(015)	58590.335	-4.257(006)
58347.429	-4.332(018)	58378.303	-4.283(016)	58414.315	-4.267(014)	58590.339	-4.245(006)
58347.432	-4.332(018)	58378.304	-4.235(016)	58414.414	-4.294(015)	58590.343	-4.242(006)
58348.334	-4.279(019)	58378.309	-4.273(016)	58414.415	-4.285(015)	58595.294	-4.103(009)
58348.336	-4.255(019)	58378.311	-4.280(016)	58414.417	-4.282(015)	58595.295	-4.093(008)
58348.339	-4.261(019)	58378.313	-4.245(016)	58416.219	-4.187(016)	58595.298	-4.113(008)
58352.313	-4.068(020)	58380.288	-4.320(015)	58416.221	-4.175(016)	58595.300	-4.089(008)
58352.315	-4.064(020)	58380.290	-4.332(015)	58416.222	-4.163(016)	58595.302	-4.096(008)
58352.316	-4.036(020)	58380.292	-4.276(015)	58539.437	-4.306(006)	58595.475	-4.077(007)
58352.515	-3.997(019)	58380.294	-4.295(015)	58539.440	-4.256(006)	58595.477	-4.060(007)
58352.516	-4.008(019)	58380.296	-4.279(015)	58539.442	-4.238(006)	58595.479	-4.071(007)
58352.518	-4.046(020)	58380.299	-4.298(016)	58539.445	-4.257(006)	58595.481	-4.028(007)
58353.312	-3.919(021)	58380.384	-4.284(016)	58541.420	-4.242(008)	58595.483	-4.049(007)
58353.316	-3.879(011)	58380.385	-4.280(015)	58541.422	-4.227(008)	58598.308	-3.772(007)
58353.318	-3.861(010)	58380.387	-4.276(015)	58541.425	-4.252(008)	58598.320	-3.772(007)
58353.320	-3.869(010)	58381.270	-4.242(015)	58541.427	-4.215(008)	58598.491	-3.815(007)
58353.478	-3.862(010)	58381.271	-4.283(016)	58541.429	-4.207(009)	58598.494	-3.797(007)
58353.480	-3.849(010)	58381.273	-4.233(015)	58541.474	-4.215(010)	58598.496	-3.799(007)
58353.482	-3.848(010)	58382.273	-4.265(016)	58541.476	-4.207(010)	58598.498	-3.833(007)
58354.391	-3.784(010)	58382.277	-4.247(016)	58541.478	-4.218(016)	58598.501	-3.805(007)
58354.393	-3.767(010)	58382.279	-4.198(015)	58565.251	-3.752(008)	58602.350	-4.220(007)
58354.394	-3.763(010)	58382.280	-4.243(015)	58565.253	-3.740(008)	58602.352	-4.217(007)
58354.397	-3.800(015)	58382.284	-4.245(016)	58565.255	-3.757(008)	58602.354	-4.198(007)
58354.399	-3.794(014)	58382.285	-4.241(016)	58565.257	-3.732(008)	58602.357	-4.222(007)
58354.401	-3.801(014)	58386.252	-3.790(016)	58565.259	-3.746(008)	58602.360	-4.230(007)
58358.300	-4.026(019)	58386.254	-3.809(016)	58568.399	-4.086(007)	58611.348	-4.127(007)
58358.303	-4.028(015)	58386.256	-3.802(016)	58568.401	-4.070(007)	58611.350	-4.137(007)
58358.305	-4.033(015)	58386.259	-3.801(016)	58568.404	-4.078(007)	58611.351	-4.135(007)
58358.306	-4.058(015)	58386.261	-3.803(016)	58568.406	-4.064(007)	58611.354	-4.118(007)
58358.429	-4.031(017)	58386.263	-3.809(016)	58568.409	-4.065(007)	58611.355	-4.129(007)
58358.431	-4.056(018)	58391.227	-4.087(019)	58569.570	-4.119(008)		

Tabel A.5: SX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused B-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb
58331.387	-1.309(011)	58354.379	-0.345(006)	58391.224	-0.911(015)	58544.240	-1.344(007)
58332.392	-1.252(010)	58354.382	-0.345(007)	58402.260	-1.305(010)	58544.242	-1.340(007)
58332.501	-1.245(010)	58354.385	-0.351(007)	58402.262	-1.311(010)	58544.244	-1.347(007)
58332.503	-1.245(010)	58354.387	-0.357(006)	58402.264	-1.310(010)	58544.245	-1.349(007)
58332.506	-1.243(010)	58354.389	-0.368(006)	58402.267	-1.302(011)	58561.401	-1.333(008)
58333.414	-1.269(009)	58358.296	-1.286(012)	58402.270	-1.292(010)	58569.586	-1.203(006)
58333.416	-1.260(009)	58358.297	-1.300(012)	58402.272	-1.295(010)	58569.588	-1.207(006)
58333.419	-1.270(010)	58358.299	-1.306(012)	58402.274	-1.316(010)	58569.590	-1.215(006)
58334.355	-1.225(010)	58358.425	-1.320(015)	58404.204	-1.248(010)	58569.591	-1.208(006)
58334.358	-1.223(010)	58358.426	-1.308(015)	58404.206	-1.236(010)	58569.593	-1.210(006)
58334.361	-1.222(009)	58358.428	-1.302(015)	58404.208	-1.249(010)	58570.383	-1.221(007)
58336.357	-1.170(009)	58364.290	-1.257(011)	58406.202	-1.253(011)	58570.387	-1.222(009)
58336.360	-1.154(009)	58364.292	-1.269(012)	58406.204	-1.256(010)	58570.390	-1.223(010)
58336.363	-1.162(009)	58364.293	-1.273(013)	58406.206	-1.253(010)	58570.393	-1.217(009)
58338.355	-1.260(009)	58365.269	-1.276(018)	58407.214	-1.201(010)	58570.397	-1.220(007)
58338.358	-1.258(009)	58365.270	-1.260(015)	58407.216	-1.192(010)	58575.326	-1.272(006)
58338.361	-1.257(009)	58365.272	-1.265(014)	58407.217	-1.191(010)	58575.328	-1.266(006)
58338.501	-1.269(008)	58368.263	-1.257(015)	58407.381	-1.184(010)	58575.330	-1.272(006)
58338.503	-1.270(009)	58368.265	-1.265(014)	58407.382	-1.196(010)	58575.332	-1.259(006)
58338.506	-1.272(008)	58368.266	-1.274(014)	58407.384	-1.197(010)	58575.334	-1.263(006)
58339.344	-1.235(009)	58374.298	-1.237(010)	58408.202	-1.254(011)	58589.501	-1.134(006)
58339.347	-1.233(009)	58374.299	-1.238(010)	58408.203	-1.249(011)	58589.503	-1.146(006)
58339.350	-1.226(011)	58374.301	-1.230(012)	58408.205	-1.246(011)	58589.505	-1.136(006)
58339.353	-1.224(011)	58375.253	-1.226(012)	58409.238	-1.239(010)	58589.507	-1.149(006)
58339.356	-1.227(011)	58375.255	-1.227(011)	58409.239	-1.239(010)	58589.509	-1.143(006)
58344.460	-1.342(010)	58375.256	-1.224(011)	58409.240	-1.240(010)	58590.294	-1.135(007)
58344.463	-1.334(010)	58376.266	-1.295(010)	58414.306	-1.267(010)	58590.296	-1.135(007)
58344.465	-1.337(010)	58376.267	-1.295(010)	58414.307	-1.263(010)	58590.299	-1.134(007)
58347.436	-1.272(010)	58376.269	-1.305(010)	58414.309	-1.267(010)	58590.301	-1.132(006)
58347.439	-1.272(011)	58378.296	-1.336(010)	58414.405	-1.250(010)	58590.304	-1.135(006)
58347.441	-1.260(011)	58378.297	-1.331(010)	58414.407	-1.255(010)	58595.453	-1.279(007)
58348.321	-1.283(012)	58378.299	-1.343(010)	58414.409	-1.258(010)	58595.455	-1.278(007)
58348.323	-1.284(012)	58380.284	-1.350(010)	58416.208	-1.276(011)	58595.456	-1.282(007)
58348.326	-1.281(012)	58380.285	-1.350(010)	58416.209	-1.282(010)	58595.458	-1.277(007)
58352.308	-0.498(012)	58380.286	-1.350(010)	58416.211	-1.292(011)	58595.460	-1.275(007)
58352.310	-0.482(011)	58381.259	-1.352(010)	58416.213	-1.279(011)	58598.470	-1.357(008)
58352.311	-0.494(011)	58381.261	-1.350(010)	58416.214	-1.293(011)	58598.472	-1.365(008)
58352.509	-0.110(010)	58381.262	-1.348(011)	58416.216	-1.280(011)	58598.475	-1.363(008)
58352.510	-0.097(010)	58381.265	-1.350(011)	58539.478	-1.289(005)	58598.477	-1.367(008)
58352.511	-0.093(010)	58381.266	-1.342(010)	58539.481	-1.283(005)	58598.479	-1.359(008)
58353.299	0.083(060)	58381.268	-1.350(010)	58539.484	-1.305(005)	58602.457	-1.318(006)
58353.300	0.101(032)	58382.265	-1.269(011)	58539.487	-1.299(005)	58602.459	-1.318(006)
58353.302	0.103(023)	58382.267	-1.270(011)	58539.490	-1.308(005)	58602.461	-1.316(006)
58353.308	0.093(008)	58382.268	-1.270(010)	58541.443	-1.310(005)	58602.463	-1.310(006)
58353.310	0.094(007)	58386.234	-1.226(011)	58541.445	-1.310(006)	58602.465	-1.316(006)
58353.471	0.115(006)	58386.235	-1.231(011)	58541.448	-1.309(006)	58611.457	-1.296(006)
58353.473	0.106(006)	58386.237	-1.238(011)	58541.450	-1.316(007)	58611.459	-1.300(006)
58353.476	0.108(006)	58391.220	-0.912(016)	58541.452	-1.311(007)	58611.461	-1.307(006)
58354.376	-0.334(006)	58391.222	-0.896(018)	58544.239	-1.349(007)	58611.463	-1.306(006)

Tabel A.6: SX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused V-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv
58331.388	-1.910(009)	58354.382	-1.328(007)	58402.264	-1.936(010)	58561.406	-2.005(004)
58332.393	-1.828(009)	58354.386	-1.329(009)	58402.271	-1.940(010)	58561.407	-1.985(005)
58332.501	-1.826(009)	58354.387	-1.335(009)	58402.272	-1.926(010)	58561.409	-2.007(006)
58332.504	-1.827(009)	58354.389	-1.335(009)	58402.274	-1.932(010)	58569.587	-1.872(005)
58332.507	-1.830(009)	58358.296	-1.886(011)	58404.204	-1.880(010)	58569.589	-1.807(005)
58333.414	-1.791(009)	58358.298	-1.892(011)	58404.206	-1.857(010)	58569.590	-1.869(005)
58333.417	-1.801(009)	58358.299	-1.912(011)	58404.208	-1.866(010)	58569.592	-1.873(005)
58333.420	-1.796(009)	58358.425	-1.912(013)	58406.202	-1.818(010)	58569.594	-1.867(005)
58334.356	-1.701(009)	58358.427	-1.918(013)	58406.204	-1.811(010)	58570.384	-1.866(005)
58334.359	-1.710(009)	58358.428	-1.899(013)	58406.206	-1.801(010)	58570.388	-1.857(004)
58334.362	-1.693(009)	58364.291	-1.924(010)	58407.215	-1.701(010)	58570.391	-1.855(006)
58336.358	-1.647(009)	58364.292	-1.944(012)	58407.216	-1.695(010)	58570.395	-1.874(004)
58336.361	-1.645(009)	58364.293	-1.918(011)	58407.217	-1.696(010)	58570.398	-1.887(005)
58336.364	-1.639(008)	58365.269	-1.939(012)	58407.381	-1.684(010)	58575.327	-1.860(004)
58338.356	-1.819(009)	58365.271	-1.956(012)	58407.383	-1.684(010)	58575.329	-1.859(004)
58338.359	-1.822(008)	58365.272	-1.939(012)	58407.384	-1.678(010)	58575.331	-1.874(004)
58338.362	-1.819(009)	58368.264	-1.857(011)	58408.202	-1.724(011)	58575.332	-1.882(005)
58338.502	-1.838(009)	58368.265	-1.853(012)	58408.204	-1.710(011)	58575.334	-1.874(004)
58338.504	-1.833(009)	58368.267	-1.872(011)	58408.205	-1.722(011)	58589.502	-1.640(004)
58338.507	-1.829(008)	58374.298	-1.787(010)	58409.238	-1.746(010)	58589.504	-1.637(004)
58339.345	-1.845(009)	58374.300	-1.781(010)	58409.239	-1.731(010)	58589.506	-1.649(004)
58339.348	-1.840(009)	58374.301	-1.768(014)	58409.241	-1.741(010)	58589.508	-1.650(004)
58339.351	-1.844(011)	58375.254	-1.812(011)	58414.307	-1.935(010)	58589.510	-1.624(004)
58339.354	-1.840(010)	58375.255	-1.826(011)	58414.308	-1.933(010)	58590.295	-1.622(004)
58339.356	-1.848(010)	58375.256	-1.813(011)	58414.309	-1.926(009)	58590.297	-1.617(004)
58344.339	-1.976(010)	58376.266	-1.910(010)	58414.406	-1.923(010)	58590.300	-1.633(004)
58344.461	-1.999(010)	58376.268	-1.923(010)	58414.408	-1.934(010)	58590.302	-1.615(004)
58344.464	-1.999(010)	58376.269	-1.906(010)	58414.410	-1.921(010)	58590.305	-1.611(004)
58344.466	-1.997(010)	58378.296	-1.985(010)	58416.208	-1.986(010)	58595.453	-1.904(005)
58347.437	-1.929(010)	58378.298	-1.973(010)	58416.210	-1.969(010)	58595.455	-1.927(005)
58347.439	-1.928(010)	58378.299	-1.965(010)	58416.211	-1.974(010)	58595.457	-1.898(005)
58347.442	-1.919(010)	58380.284	-1.990(010)	58416.213	-1.985(010)	58595.459	-1.911(005)
58348.321	-1.913(011)	58380.285	-1.999(010)	58416.215	-1.979(010)	58595.460	-1.902(005)
58348.324	-1.911(011)	58380.287	-2.005(010)	58416.216	-1.964(010)	58598.471	-2.046(006)
58348.327	-1.902(011)	58381.260	-1.978(010)	58539.479	-1.915(003)	58598.473	-2.052(006)
58352.309	-1.412(010)	58381.261	-1.992(010)	58539.482	-1.911(003)	58598.475	-2.046(006)
58352.310	-1.416(010)	58381.262	-1.997(010)	58539.485	-1.927(003)	58598.478	-2.051(006)
58352.311	-1.427(010)	58381.265	-1.980(010)	58539.488	-1.915(003)	58598.480	-2.056(006)
58352.509	-1.240(010)	58381.267	-1.994(010)	58539.491	-1.912(003)	58602.458	-1.998(005)
58352.510	-1.229(010)	58381.268	-1.978(010)	58541.444	-1.956(006)	58602.460	-1.989(005)
58352.512	-1.247(010)	58382.266	-1.934(010)	58541.446	-1.965(005)	58602.462	-1.993(005)
58353.299	-1.057(027)	58382.267	-1.929(011)	58541.448	-1.962(005)	58602.464	-1.996(005)
58353.301	-1.130(021)	58382.269	-1.941(010)	58541.451	-1.962(008)	58602.466	-1.996(005)
58353.302	-1.101(015)	58386.234	-1.878(010)	58541.453	-1.951(007)	58611.456	-1.917(005)
58353.306	-1.121(008)	58386.236	-1.886(010)	58544.239	-2.028(007)	58611.458	-1.931(005)
58353.309	-1.109(005)	58386.238	-1.925(025)	58544.241	-2.036(007)	58611.459	-1.900(005)
58353.311	-1.115(005)	58391.221	-1.634(014)	58544.243	-2.033(007)	58611.461	-1.910(005)
58353.472	-1.096(005)	58391.223	-1.637(014)	58544.244	-2.033(007)	58611.463	-1.903(005)
58353.474	-1.104(005)	58391.225	-1.651(013)	58544.246	-2.029(007)		
58353.477	-1.100(005)	58402.261	-1.949(010)	58561.402	-2.000(004)		
58354.377	-1.280(005)	58402.262	-1.932(010)	58561.403	-2.011(004)		

Tabel A.7: SX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused R-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr
58331.388	-2.357(014)	58354.388	-1.937(008)	58402.265	-2.400(013)	58561.402	-2.414(006)
58332.394	-2.256(014)	58354.390	-1.951(008)	58402.271	-2.403(013)	58561.404	-2.407(006)
58332.502	-2.279(013)	58358.297	-2.355(014)	58402.273	-2.378(013)	58561.406	-2.427(006)
58332.505	-2.261(013)	58358.298	-2.349(013)	58402.275	-2.392(012)	58569.587	-2.306(006)
58332.507	-2.257(013)	58358.299	-2.365(014)	58404.205	-2.322(013)	58569.589	-2.294(006)
58333.415	-2.219(014)	58358.425	-2.359(015)	58404.207	-2.336(013)	58569.591	-2.303(006)
58333.418	-2.230(013)	58358.427	-2.372(015)	58404.209	-2.304(012)	58569.592	-2.314(006)
58333.421	-2.228(014)	58358.428	-2.380(015)	58406.203	-2.222(012)	58569.594	-2.212(006)
58334.357	-2.099(013)	58364.291	-2.409(013)	58406.205	-2.225(012)	58570.385	-2.243(008)
58334.360	-2.124(013)	58364.292	-2.397(015)	58406.207	-2.235(012)	58570.388	-2.258(005)
58334.362	-2.134(013)	58364.294	-2.437(013)	58407.215	-2.096(012)	58570.392	-2.290(007)
58336.362	-2.021(013)	58365.269	-2.409(014)	58407.216	-2.104(012)	58570.395	-2.208(005)
58338.357	-2.234(013)	58365.271	-2.410(014)	58407.218	-2.094(012)	58570.399	-2.247(008)
58338.360	-2.277(013)	58365.272	-2.413(014)	58407.382	-2.076(012)	58575.327	-2.266(006)
58338.362	-2.241(013)	58368.264	-2.297(013)	58407.383	-2.110(012)	58575.329	-2.252(006)
58338.502	-2.280(012)	58368.266	-2.307(014)	58407.384	-2.088(012)	58575.331	-2.253(005)
58338.505	-2.242(013)	58368.267	-2.299(014)	58408.203	-2.104(013)	58575.333	-2.254(005)
58338.508	-2.266(013)	58374.299	-2.219(021)	58408.204	-2.121(013)	58575.335	-2.270(006)
58339.345	-2.296(013)	58374.300	-2.187(013)	58408.205	-2.126(013)	58589.502	-2.002(005)
58339.352	-2.303(013)	58374.301	-2.182(023)	58409.238	-2.133(012)	58589.504	-1.989(005)
58339.354	-2.303(013)	58375.254	-2.263(013)	58409.240	-2.129(012)	58589.506	-1.990(005)
58339.357	-2.277(013)	58375.255	-2.257(013)	58409.241	-2.146(012)	58589.508	-1.975(005)
58344.337	-2.473(013)	58375.257	-2.263(013)	58414.307	-2.399(012)	58589.510	-1.996(005)
58344.339	-2.459(013)	58376.267	-2.393(013)	58414.308	-2.411(012)	58590.295	-1.971(005)
58344.462	-2.471(013)	58376.268	-2.367(012)	58414.309	-2.405(012)	58590.297	-1.964(005)
58344.464	-2.485(013)	58376.269	-2.356(012)	58414.406	-2.413(012)	58590.300	-1.970(005)
58344.467	-2.473(013)	58378.297	-2.433(013)	58414.408	-2.386(012)	58590.303	-1.961(005)
58347.437	-2.396(013)	58378.298	-2.443(012)	58414.410	-2.398(012)	58590.305	-1.982(005)
58347.440	-2.406(013)	58378.299	-2.448(013)	58416.209	-2.449(013)	58595.454	-2.326(007)
58347.443	-2.405(013)	58380.284	-2.455(012)	58416.210	-2.448(013)	58595.455	-2.332(007)
58348.322	-2.396(013)	58380.286	-2.469(012)	58416.211	-2.434(013)	58595.457	-2.344(007)
58348.325	-2.364(013)	58380.287	-2.458(012)	58416.214	-2.451(013)	58595.459	-2.333(007)
58348.327	-2.376(014)	58381.260	-2.470(013)	58416.215	-2.450(013)	58595.461	-2.365(007)
58352.309	-2.036(013)	58381.261	-2.451(013)	58416.216	-2.442(013)	58598.471	-2.490(007)
58352.310	-2.017(013)	58381.263	-2.460(013)	58539.480	-2.313(004)	58598.474	-2.486(007)
58352.312	-2.000(013)	58381.266	-2.445(013)	58539.483	-2.327(004)	58598.476	-2.500(007)
58352.509	-1.873(012)	58381.267	-2.473(013)	58539.486	-2.293(004)	58598.478	-2.475(007)
58352.511	-1.902(012)	58381.268	-2.456(013)	58539.489	-2.311(004)	58598.481	-2.493(007)
58353.300	-1.787(026)	58382.266	-2.412(013)	58539.492	-2.314(004)	58602.458	-2.440(007)
58353.301	-1.770(023)	58382.267	-2.413(013)	58541.444	-2.371(006)	58602.460	-2.437(007)
58353.302	-1.791(017)	58382.269	-2.391(013)	58541.446	-2.355(006)	58602.462	-2.447(007)
58353.307	-1.796(008)	58386.235	-2.331(012)	58541.449	-2.392(006)	58602.464	-2.403(007)
58353.309	-1.789(006)	58386.236	-2.321(013)	58541.451	-2.378(008)	58602.466	-2.451(007)
58353.311	-1.780(006)	58386.238	-2.292(021)	58541.453	-2.403(008)	58611.456	-2.291(007)
58353.472	-1.782(006)	58391.221	-2.121(017)	58544.240	-2.448(009)	58611.458	-2.302(007)
58353.475	-1.782(006)	58391.223	-2.167(031)	58544.241	-2.448(008)	58611.460	-2.296(007)
58353.477	-1.776(006)	58391.225	-2.138(015)	58544.243	-2.429(008)	58611.462	-2.314(007)
58354.383	-1.934(008)	58402.261	-2.404(012)	58544.245	-2.452(009)	58611.463	-2.311(007)
58354.386	-1.933(008)	58402.263	-2.397(013)	58544.246	-2.458(009)		

Tabel A.8: SX Cas instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused I-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi
58331.389	-2.806(020)	58354.386	-2.485(012)	58402.265	-2.856(019)	58561.404	-2.902(007)
58332.394	-2.714(019)	58354.388	-2.495(012)	58402.271	-2.850(019)	58561.406	-2.899(007)
58332.503	-2.735(019)	58354.390	-2.485(012)	58402.273	-2.832(019)	58561.408	-2.760(022)
58332.505	-2.724(019)	58358.297	-2.811(019)	58402.275	-2.861(019)	58569.587	-2.825(008)
58332.508	-2.696(019)	58358.298	-2.824(020)	58404.205	-2.767(018)	58569.589	-2.795(008)
58333.416	-2.635(019)	58358.300	-2.783(019)	58404.207	-2.764(018)	58569.591	-2.752(009)
58333.418	-2.675(020)	58358.426	-2.818(022)	58404.209	-2.781(018)	58569.593	-2.596(009)
58333.421	-2.667(020)	58358.427	-2.812(021)	58406.203	-2.667(018)	58569.594	-2.788(008)
58334.357	-2.551(020)	58358.428	-2.837(021)	58406.205	-2.667(018)	58570.385	-2.766(008)
58334.360	-2.524(019)	58364.291	-2.875(019)	58406.207	-2.668(018)	58570.389	-2.764(007)
58334.363	-2.534(019)	58364.293	-2.859(022)	58407.215	-2.511(018)	58570.392	-2.760(007)
58336.362	-2.488(019)	58364.294	-2.891(018)	58407.217	-2.553(018)	58570.396	-2.742(006)
58338.357	-2.721(018)	58365.270	-2.871(020)	58407.218	-2.503(017)	58570.399	-2.775(006)
58338.360	-2.705(019)	58365.271	-2.874(020)	58407.382	-2.509(018)	58575.327	-2.757(006)
58338.363	-2.745(019)	58365.273	-2.842(020)	58407.383	-2.520(018)	58575.329	-2.757(006)
58338.503	-2.722(018)	58368.264	-2.764(020)	58407.385	-2.498(018)	58575.331	-2.750(006)
58338.505	-2.721(019)	58368.266	-2.767(019)	58408.203	-2.540(020)	58575.333	-2.750(006)
58338.508	-2.725(019)	58368.267	-2.774(019)	58408.204	-2.547(019)	58575.335	-2.753(006)
58339.346	-2.742(019)	58374.299	-2.661(019)	58408.206	-2.518(019)	58589.503	-2.437(009)
58339.352	-2.750(019)	58374.300	-2.622(031)	58409.239	-2.547(018)	58589.505	-2.454(009)
58339.355	-2.777(019)	58374.302	-2.643(029)	58409.240	-2.567(018)	58589.507	-2.430(009)
58339.358	-2.752(019)	58375.254	-2.749(019)	58409.241	-2.556(018)	58589.509	-2.420(009)
58344.337	-2.915(019)	58375.256	-2.700(018)	58414.307	-2.881(017)	58589.511	-2.432(009)
58344.340	-2.922(019)	58375.257	-2.730(019)	58414.308	-2.881(017)	58590.295	-2.433(005)
58344.462	-2.927(018)	58376.267	-2.824(018)	58414.310	-2.874(017)	58590.298	-2.435(006)
58344.465	-2.921(018)	58376.268	-2.837(018)	58414.407	-2.886(018)	58590.300	-2.408(005)
58344.467	-2.942(019)	58376.270	-2.830(018)	58414.409	-2.876(018)	58590.303	-2.415(005)
58347.438	-2.879(018)	58378.297	-2.894(018)	58414.411	-2.861(018)	58590.306	-2.507(006)
58347.441	-2.873(018)	58378.298	-2.867(018)	58416.209	-2.922(018)	58595.454	-2.801(008)
58347.443	-2.876(018)	58378.300	-2.897(019)	58416.210	-2.919(019)	58595.456	-2.792(008)
58348.322	-2.833(019)	58380.285	-2.943(018)	58416.212	-2.920(019)	58595.458	-2.796(008)
58348.325	-2.823(019)	58380.286	-2.913(018)	58416.214	-2.909(019)	58595.459	-2.778(007)
58348.328	-2.853(019)	58380.287	-2.945(018)	58416.215	-2.947(019)	58595.461	-2.792(007)
58352.309	-2.539(019)	58381.260	-2.939(019)	58416.217	-2.898(019)	58598.471	-2.969(007)
58352.311	-2.537(019)	58381.262	-2.923(018)	58539.480	-2.804(006)	58598.474	-2.965(008)
58352.312	-2.526(019)	58381.263	-2.919(018)	58539.483	-2.833(006)	58598.476	-2.955(007)
58352.510	-2.471(018)	58381.266	-2.913(018)	58539.486	-2.835(006)	58598.479	-2.944(007)
58352.511	-2.458(019)	58381.267	-2.918(019)	58539.489	-2.879(006)	58598.481	-2.959(008)
58352.512	-2.470(019)	58381.269	-2.912(019)	58539.492	-2.831(006)	58602.459	-2.927(008)
58353.300	-2.359(034)	58382.266	-2.886(019)	58541.444	-2.866(012)	58602.461	-2.941(008)
58353.301	-2.390(030)	58382.268	-2.872(019)	58541.447	-2.853(012)	58602.462	-2.921(008)
58353.303	-2.395(025)	58382.269	-2.901(019)	58541.449	-2.824(012)	58602.464	-2.941(008)
58353.307	-2.372(010)	58386.235	-2.789(018)	58541.451	-2.930(017)	58602.466	-2.919(008)
58353.310	-2.382(009)	58386.237	-2.782(018)	58541.453	-2.864(018)	58611.456	-2.769(008)
58353.312	-2.383(008)	58386.239	-2.782(019)	58544.240	-2.951(010)	58611.458	-2.775(007)
58353.473	-2.370(008)	58391.222	-2.665(027)	58544.242	-2.940(009)	58611.460	-2.812(008)
58353.475	-2.384(008)	58391.224	-2.643(035)	58544.243	-2.940(010)	58611.462	-2.774(008)
58353.477	-2.372(008)	58391.226	-2.601(022)	58544.245	-2.965(010)	58611.464	-2.779(008)
58354.378	-2.496(008)	58402.261	-2.863(018)	58544.247	-2.944(010)		
58354.383	-2.486(012)	58402.263	-2.879(018)	58561.402	-2.855(007)		

Tabel A.9: W Ser instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused B-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb mag	HJD- 2400000	Δb
58332.371	0.109(004)	58354.369	-0.022(005)	58378.287	-0.148(003)	58407.190	-0.171(003)
58332.375	0.068(004)	58354.373	-0.043(005)	58378.290	-0.139(003)	58407.193	-0.177(003)
58332.391	0.089(004)	58364.281	-0.283(004)	58381.247	-0.120(003)	58408.185	-0.206(006)
58333.388	0.051(004)	58364.284	-0.233(003)	58381.249	-0.116(003)	58408.188	-0.207(005)
58333.391	0.030(004)	58364.286	-0.338(004)	58381.252	-0.115(003)	58408.191	-0.206(005)
58336.352	-0.134(003)	58368.259	0.058(014)	58382.252	-0.010(003)	58409.204	-0.202(004)
58336.355	-0.126(003)	58376.254	0.157(003)	58382.255	-0.019(003)	58409.207	-0.236(004)
58338.345	-0.032(003)	58376.257	0.153(003)	58382.258	-0.024(003)	58409.210	-0.239(004)
58338.348	-0.026(003)	58376.259	0.149(003)	58386.226	0.896(010)		
58338.352	-0.038(003)	58378.284	-0.125(003)	58407.187	-0.146(003)		

Tabel A.10: W Ser instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused V-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv mag	HJD- 2400000	Δv
58331.414	-0.414(006)	58338.353	-0.443(003)	58354.374	-0.502(004)	58382.253	-0.475(003)
58331.417	-0.455(007)	58339.335	-0.409(003)	58364.282	-0.581(003)	58382.256	-0.502(003)
58332.372	-0.357(003)	58339.338	-0.397(003)	58364.284	-0.582(004)	58382.259	-0.515(003)
58332.389	-0.359(003)	58339.341	-0.387(003)	58364.287	-0.623(006)	58386.227	0.421(010)
58332.392	-0.369(004)	58344.322	0.266(003)	58375.243	-0.199(004)	58407.188	-0.538(003)
58333.389	-0.354(003)	58344.325	0.265(003)	58375.246	-0.188(003)	58407.191	-0.517(003)
58333.392	-0.371(004)	58344.329	0.277(003)	58375.249	-0.201(003)	58407.194	-0.541(003)
58333.395	-0.337(004)	58348.306	-0.408(004)	58376.255	-0.285(003)	58408.186	-0.576(005)
58334.349	-0.399(003)	58348.310	-0.409(004)	58376.258	-0.299(003)	58408.189	-0.506(005)
58334.352	-0.426(003)	58348.313	-0.399(004)	58376.260	-0.281(003)	58408.192	-0.558(005)
58334.356	-0.457(003)	58352.303	-0.464(003)	58378.285	-0.516(003)	58409.205	-0.681(004)
58336.348	-0.464(003)	58352.305	-0.475(003)	58378.288	-0.528(003)	58409.207	-0.686(004)
58336.353	-0.406(003)	58352.307	-0.485(003)	58378.291	-0.482(003)	58409.211	-0.627(004)
58336.356	-0.427(003)	58353.297	-0.564(004)	58381.247	-0.571(003)		
58338.346	-0.452(003)	58354.367	-0.497(004)	58381.250	-0.563(003)		
58338.349	-0.458(003)	58354.370	-0.529(004)	58381.253	-0.557(003)		

Tabel A.11: W Ser instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused R-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr mag	HJD- 2400000	Δr
58331.415	-0.651(008)	58339.335	-0.726(004)	58354.375	-0.793(005)	58381.248	-0.902(004)
58331.417	-0.807(009)	58339.339	-0.827(004)	58364.282	-0.913(004)	58381.251	-0.893(004)
58332.373	-0.678(004)	58339.342	-0.786(004)	58364.285	-0.872(004)	58381.254	-0.871(004)
58332.390	-0.709(004)	58344.322	-0.098(004)	58364.288	-0.906(009)	58382.253	-0.835(004)
58332.393	-0.604(004)	58344.326	-0.092(004)	58365.263	-0.745(006)	58382.256	-0.892(004)
58333.389	-0.702(004)	58344.329	-0.107(004)	58365.266	-0.702(005)	58382.259	-0.855(004)
58333.393	-0.736(004)	58348.307	-0.732(004)	58368.255	-0.756(006)	58407.189	-0.721(004)
58333.396	-0.669(004)	58348.310	-0.728(004)	58368.258	-0.781(005)	58407.191	-0.764(004)
58334.350	-0.719(003)	58348.314	-0.723(004)	58375.244	-0.602(004)	58407.194	-0.812(004)
58334.353	-0.708(003)	58352.303	-0.731(004)	58375.246	-0.537(004)	58408.187	-0.767(006)
58334.356	-0.709(003)	58352.305	-0.754(004)	58375.249	-0.602(004)	58408.190	-0.781(006)
58336.349	-0.715(003)	58352.307	-0.754(004)	58376.255	-0.618(004)	58408.193	-0.878(006)
58336.353	-0.694(004)	58353.293	-0.873(005)	58376.258	-0.604(004)	58409.205	-0.966(004)
58336.357	-0.662(004)	58353.296	-0.893(005)	58376.261	-0.625(004)	58409.208	-1.091(005)
58338.347	-0.796(004)	58353.298	-0.872(004)	58378.285	-0.784(004)	58409.211	-0.933(004)
58338.350	-0.815(003)	58354.368	-0.877(005)	58378.288	-0.784(004)		
58338.353	-0.856(004)	58354.371	-0.939(005)	58378.291	-0.817(004)		

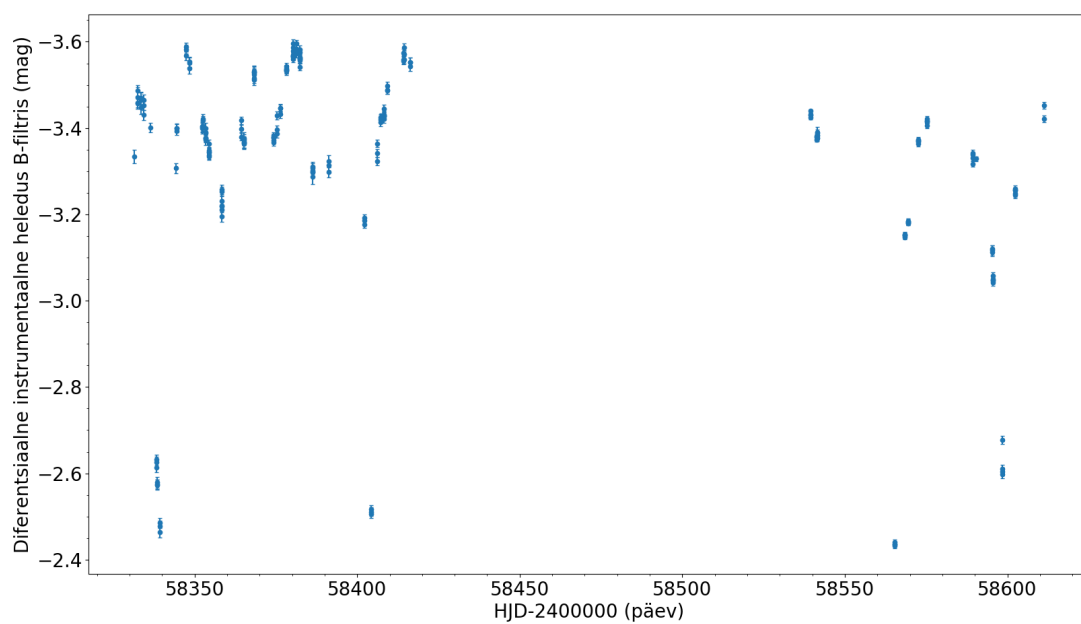
Tabel A.12: W Ser instrumentaalsed diferentsiaalsed heledused I-filtris koos. Määramatus on antud sulgudes.

HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi mag	HJD- 2400000	Δi
58331.418	-1.052(.01)	58339.339	-1.105(005)	58364.283	-1.064(005)	58381.251	-1.133(004)
58332.374	-0.911(005)	58339.343	-1.059(005)	58364.286	-1.123(005)	58381.254	-1.143(004)
58332.390	-0.941(005)	58344.323	-0.421(005)	58365.261	-0.869(012)	58382.254	-1.107(004)
58332.394	-0.958(005)	58344.326	-0.403(005)	58365.264	-0.851(007)	58382.257	-1.152(004)
58333.390	-0.950(005)	58344.330	-0.422(005)	58365.267	-0.886(006)	58382.260	-1.100(005)
58333.393	-0.998(006)	58348.308	-0.998(005)	58368.255	-1.094(006)	58407.189	-0.872(004)
58333.397	-1.015(006)	58348.311	-0.943(005)	58368.258	-1.130(006)	58407.192	-0.993(004)
58334.350	-0.970(004)	58348.314	-0.935(005)	58375.244	-0.919(005)	58407.195	-0.993(005)
58334.354	-0.964(004)	58352.304	-0.982(004)	58375.247	-0.893(005)	58408.187	-0.958(006)
58334.357	-0.988(004)	58352.306	-1.000(004)	58375.250	-0.882(004)	58408.190	-0.976(006)
58336.349	-0.909(004)	58352.308	-1.052(004)	58376.256	-0.895(004)	58408.193	-1.001(006)
58336.354	-0.915(004)	58353.294	-1.138(005)	58376.259	-0.966(004)	58409.206	-1.150(005)
58336.357	-0.880(004)	58353.296	-1.174(005)	58376.261	-0.887(005)	58409.209	-1.129(005)
58338.347	-1.071(004)	58353.298	-1.126(005)	58378.286	-0.963(004)	58409.212	-1.181(005)
58338.351	-1.032(004)	58354.368	-1.193(005)	58378.289	-0.991(004)		
58338.354	-1.033(004)	58354.372	-1.162(005)	58378.292	-1.046(004)		
58339.336	-1.030(005)	58354.375	-1.165(005)	58381.249	-1.161(004)		

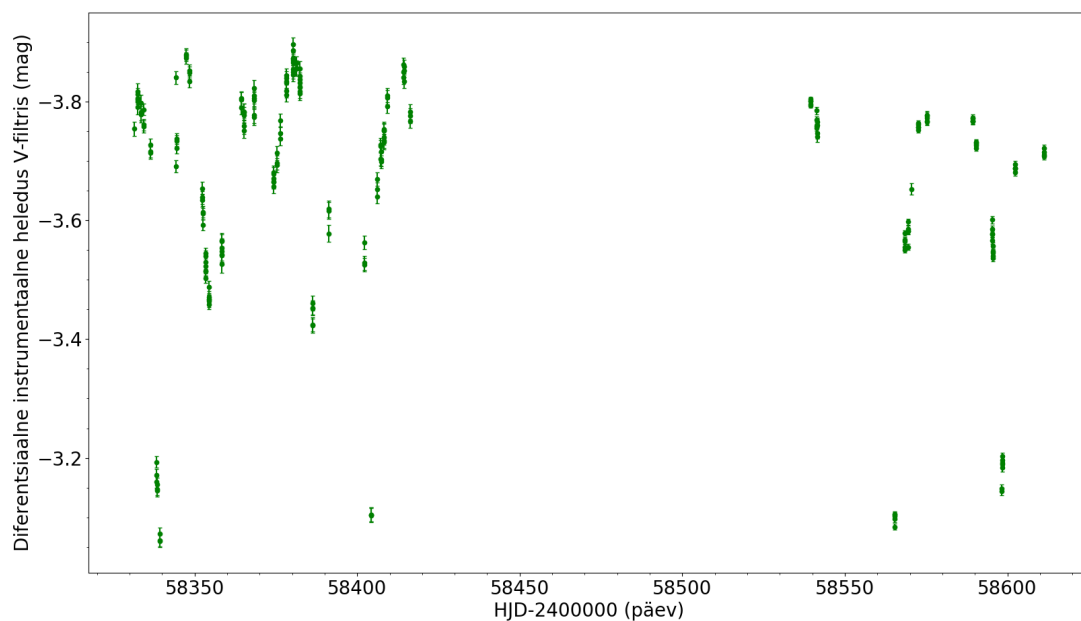
Lisa B

Tähtede heleduskõverad

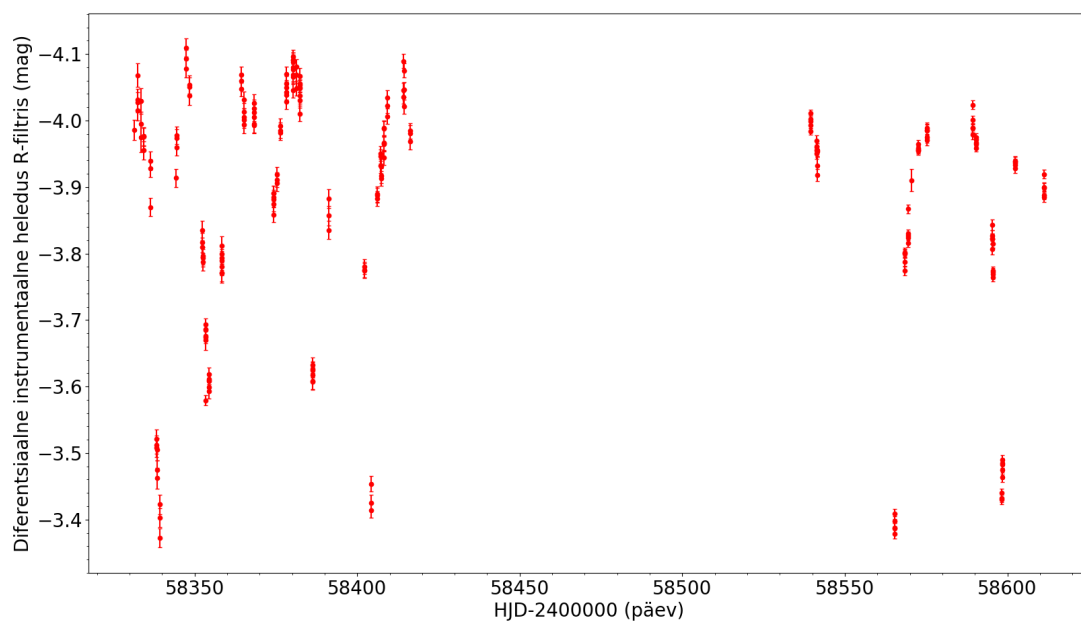
Siin on toodud tähtede RX Cas, SX Cas ja W Ser heleduskõverad.



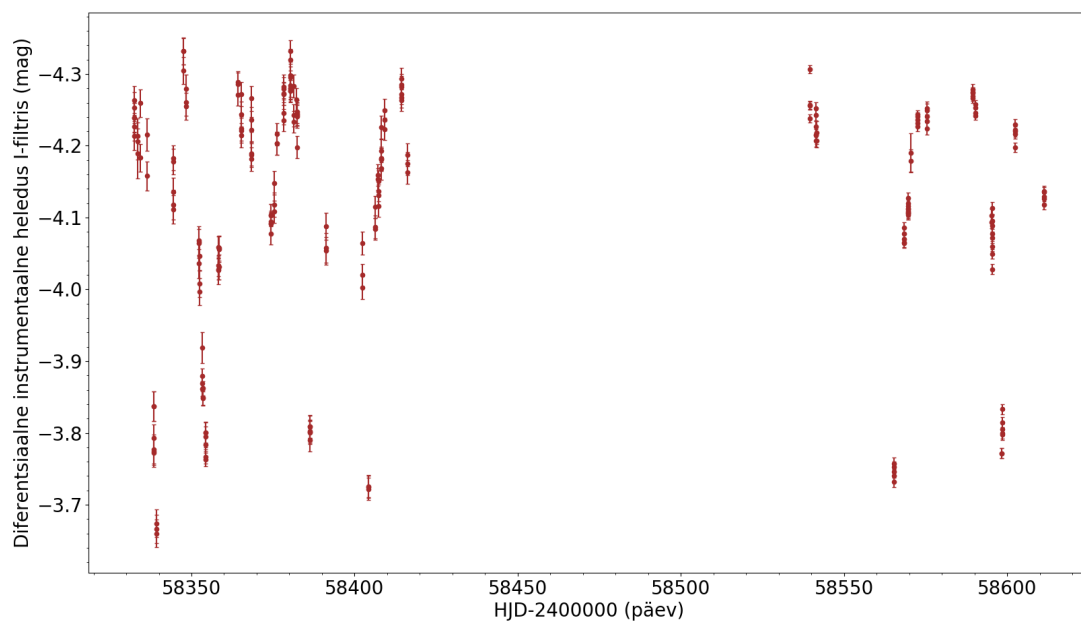
Joonis B.1: RX Cas heleduskõver B-filtris.



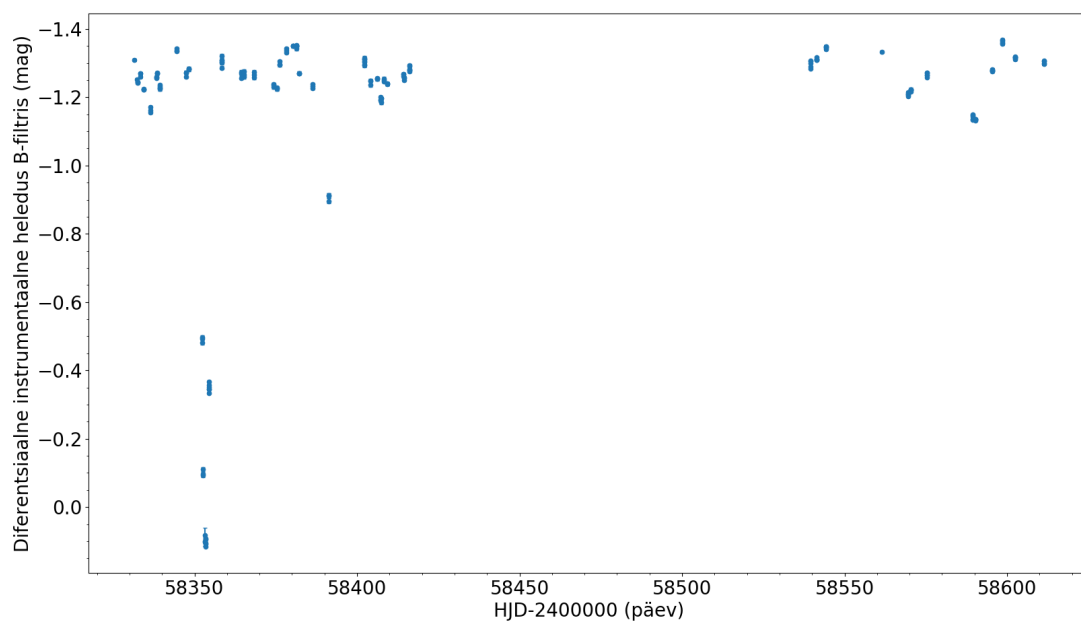
Joonis B.2: RX Cas heleduskõver V-filtris.



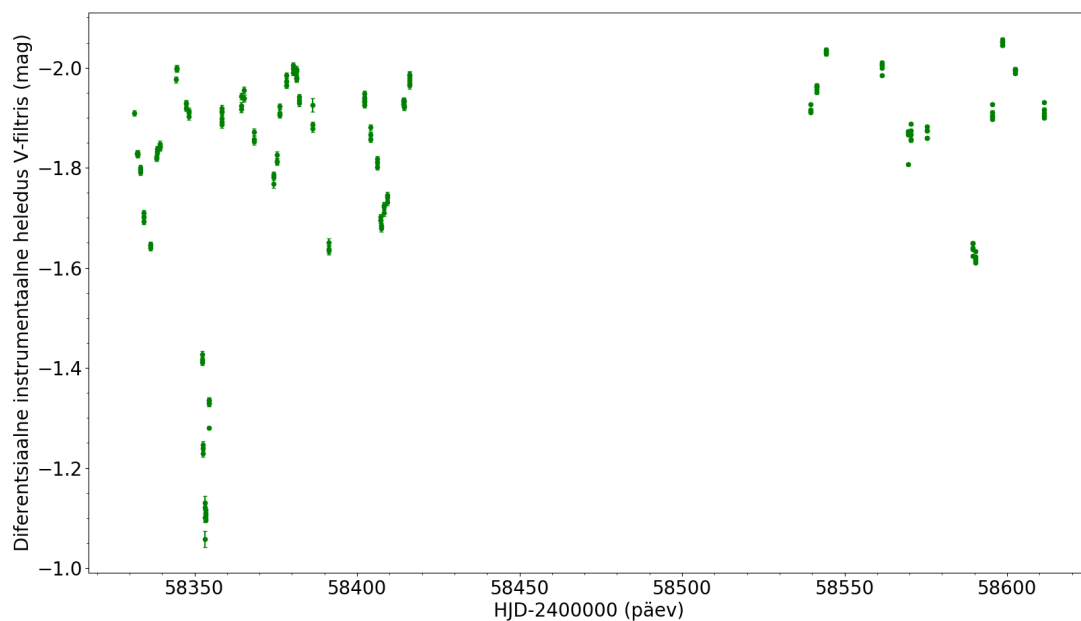
Joonis B.3: RX Cas heleduskõver R-filtris.



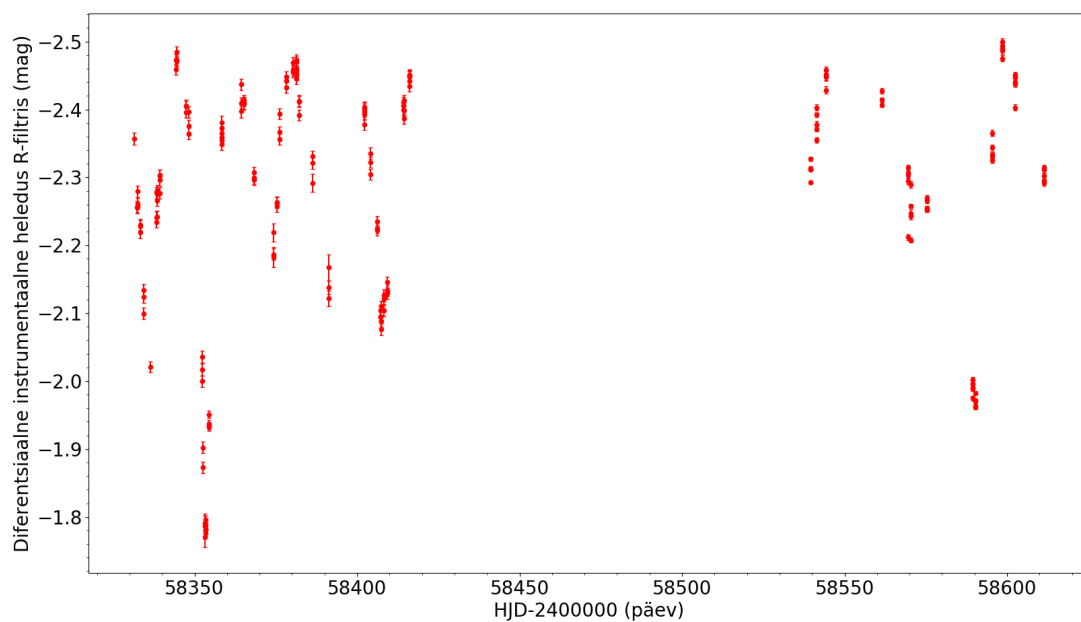
Joonis B.4: RX Cas heleduskõver I-filtris.



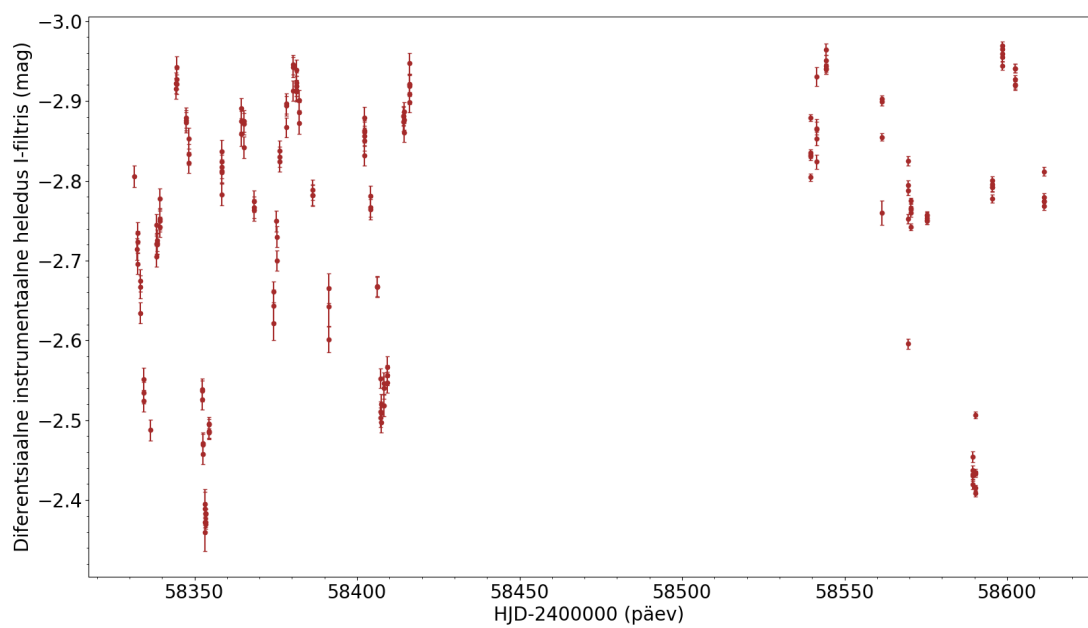
Joonis B.5: SX Cas heleduskõver B-filtris.



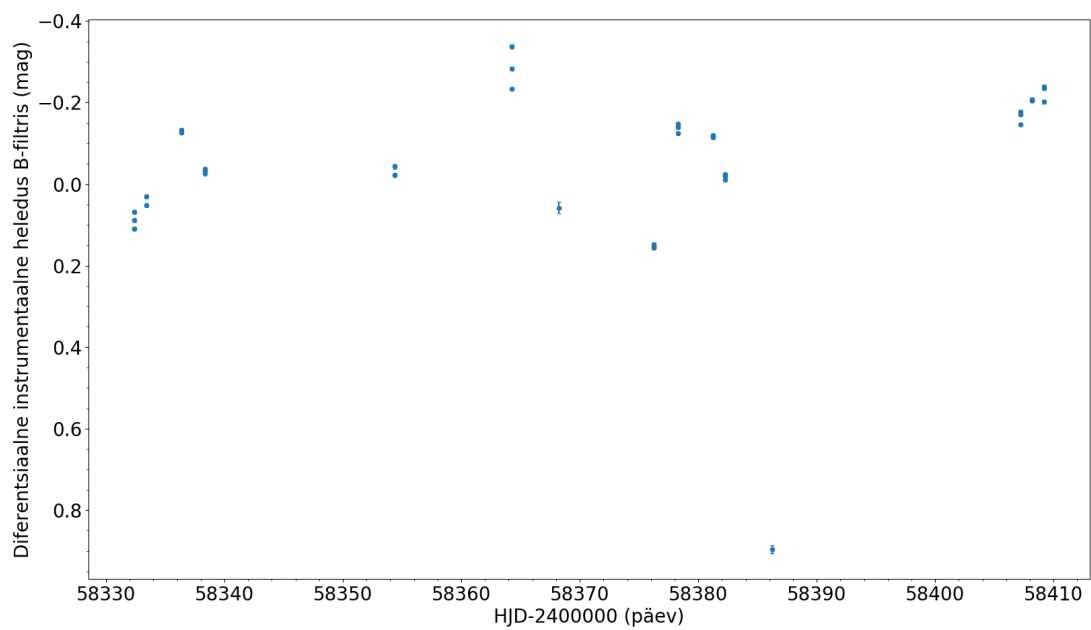
Joonis B.6: SX Cas heleduskõver V-filtris.



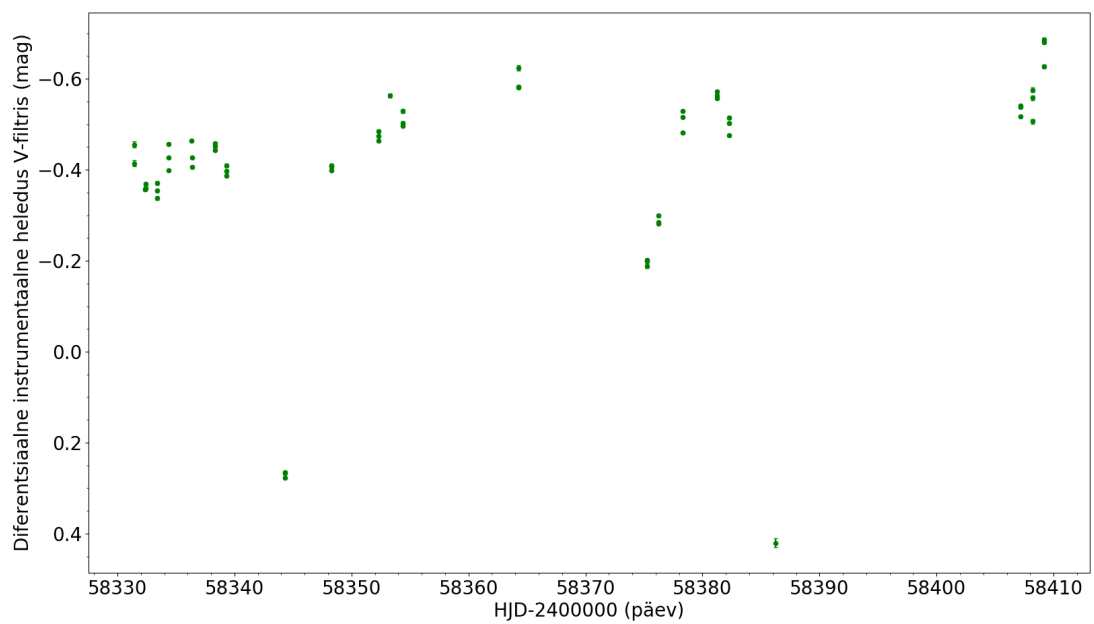
Joonis B.7: SX Cas heleduskõver R-filtris.



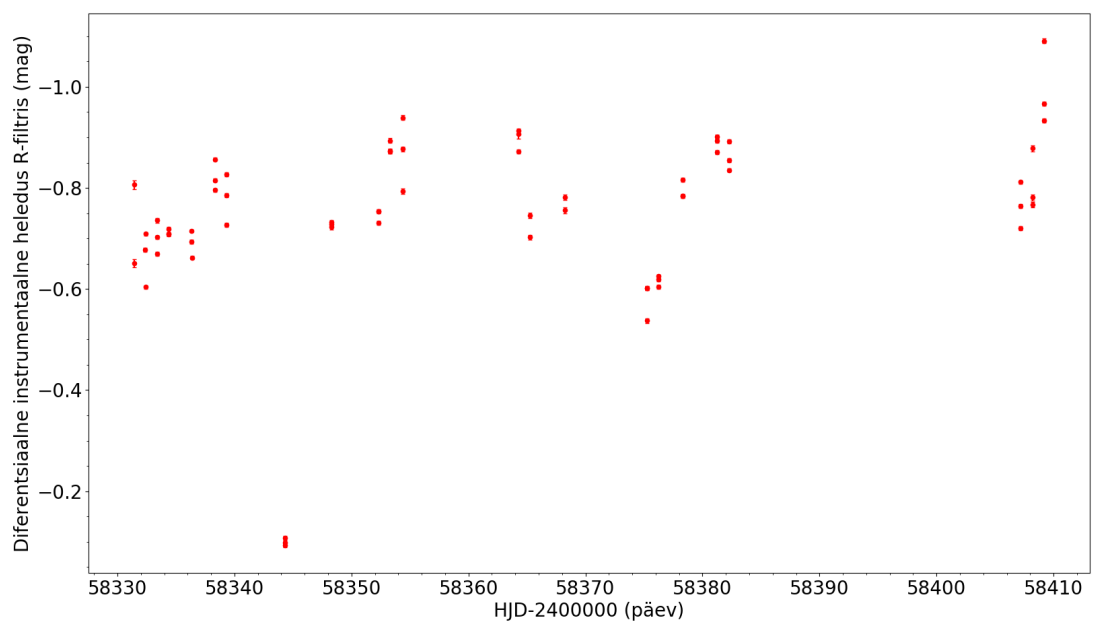
Joonis B.8: SX Cas heleduskõver I-filtris.



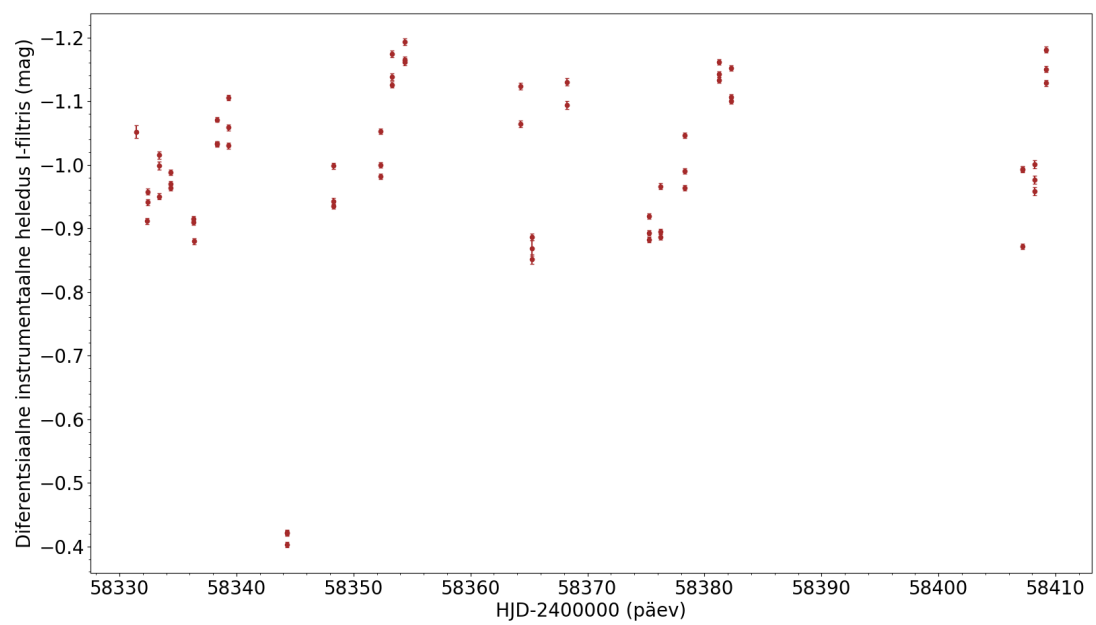
Joonis B.9: W Ser heleduskõver B-filtris.



Joonis B.10: W Ser heleduskõver V-filtris.



Joonis B.11: W Ser heleduskõver R-filtris.



Lisa C

RX Cas peamiinimumide hetked

Siin on toodud RX Cas O-C kõvera koostamisel kasutatud peamiinimumide momendid koos määramatustega.

Tabel C.1: RX Cas O-C kõvera moodustamiseks kasutatud peamiinimumide hetked.

T_0 HJD-2400000	T_0 HJD-2400000	T_0 HJD-2400000
58597.644(074)	46407.494(404)	42495.098(004)
58565.671(060)	46148.581(049)	42171.746(346)
58403.756(127)	46018.934(016)	42139.170(001)
58339.143(139)	45825.745(307)	42107.024(166)
49026.145(113)	45405.007(235)	41945.382(041)
48606.038(307)	45275.812(226)	41913.342(033)
48541.818(210)	45081.652(181)	41719.432(065)
48024.101(291)	45049.007(033)	41686.757(033)
47991.653(101)	44693.629(065)	41428.233(081)
47959.064(088)	44499.798(030)	41395.751(145)
47894.285(227)	44467.248(045)	41331.614(197)
47571.044(412)	44370.795(235)	41072.030(058)
47473.965(011)	44305.919(226)	41040.724(057)
47441.704(021)	44273.586(089)	40717.052(060)
47279.932(113)	44176.376(022)	40684.578(037)
47182.872(049)	44144.209(117)	40587.971(645)
47021.865(420)	43982.367(040)	40296.859(067)
46925.130(728)	43949.849(194)	40232.131(129)
46892.179(066)	43820.819(076)	40167.344(130)
46827.777(215)	43756.247(138)	40102.066(976)
46471.696(032)	43562.062(061)	39973.720(126)
46439.276(226)	43529.492(767)	39940.957(032)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rauno Neito,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

W Serpentis-tüüpi kaksiktähtede orbitaalperioodi muutlikkus,

mille juhendajad on PhD Indrek Kolka ja MSc Tõnis Eenmäe, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. olen teadlik, et punktis 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Rauno Neito,

Tartu, 30. mai 2019. a.